D/EP/Lazio
Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale - Regione Lazio

Regione Lazio

ARPALAZIO

Rapporto

"Epidemiologia Rifiuti Ambiente Salute nel Lazio - ERAS Lazio"

Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione esposta a processi di raccolta, trasformazione e smaltimento dei rifiuti urbani nella regione Lazio

D/EP/Lazio
Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale - Regione Lazio

Regione Lazio

ARPALAZIO

A cura di

Carla Ancona, Chiara Badaloni, Simone Bucci, Martina Nicole Golini, Francesca Mataloni, Silvia Narduzzi e Francesco Forastiere
Dipartimento di Epidemiologia SSR- Lazio/ASL RM E - Direttore Dott.ssa Marina Davoli

Andrea Bolignano, Giorgio Catenacci, Fabio Costa, Alessandro D. Di Giosa, Maurizio Guidotti, Rosangela Lonetto, Roberto Sozzi
ARPA Lazio - Commissario straordinario Avv. Corrado Carrubba

Jessica Carmen Fischetti
Regione Lazio, Direzione Regionale Attività Produttive e Rifiuti

Si ringraziano per la collaborazione alla realizzazione del progetto:

ARPA Emilia Romagna
Silvia Candela, Andrea Ranzi, Vanes Poluzzi, Stefano Tibaldi e tutto il gruppo di lavoro progetto MONITER

Luca Carra, Marco Milano - Agenzia giornalistica *Zadig*

I tecnici delle Divisioni e dei Servizi di *ARPA Lazio*

I sindaci, i dirigenti e tutto il personale degli Uffici di Stato Civile dei comuni del Lazio coinvolti per il prezioso aiuto fornito per l'estrazione degli archivi anagrafici.

Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale, Regione Lazio/ASL RME
Via di Santa Costanza 53, 00198 - Roma
www.deplazio.net

INDICE

Volume 1

(A) SINTESI E CONCLUSIONI 1

Premessa 2

I rifiuti nel Lazio 2

Obiettivi del programma 5

Il metodo 6

Risultati 9

Il sistema discariche 9

Un caso specifico: Area complessa Malagrotta 13

Termovalorizzatori 15

Impianti per il trattamento meccanico biologico dei rifiuti 19

Lavoratori del settore rifiuti 20

Conclusioni e sviluppi futuri 20

(B) IL PROGRAMMA "Epidemiologia, Rifiuti, Ambiente e Salute" del Lazio (ERASLazio) 23

Descrizione sintetica del programma 24

Introduzione 26

Obiettivi del programma ERAS Lazio 28

Bibliografia 30

(C) GESTIONE DEI RIFIUTI NEL LAZIO 31

Premessa 32

Produzione dei rifiuti 32

Analisi della produzione dei rifiuti 32

Composizione merceologica dei rifiuti 34

Stima previsionale della produzione dei rifiuti 35

L'impiantistica 36

Impianti di selezione, biostabilizzazione e produzione CDR/CSS 36

Impianti di compostaggio 37

Impianti di termovalorizzazione 39

Impianti di discarica 40

Volume 2

(D) RAPPORTO AMBIENTE 41

Legenda 42

Introduzione 43

Obiettivi 43

Articolazione del documento 43

Impianti di gestione rifiuti oggetto dello studio 44

Metodologia 48

Raccolta documentazione 50

Valutazione ambientale delle aree interessate dagli impianti 50

Analisi dei dati di controllo e monitoraggio ambientale degli impianti 51

Indagini sperimentali 53

Individuazione della popolazione esposta agli agenti inquinanti in atmosfera 54

La ricostruzione dei livelli di inquinamento sulla regione Lazio 55

L'impronta (footprint) degli impianti di trattamento rifiuti 57

Inquadramento territoriale 61

Discariche 61

Area complessa di Malagrotta 72

Termovalorizzatori 77

Trattamento meccanico biologico 84

Stato dell'ambiente 93

Qualità delle acque 93

Discariche 94

Area complessa di Malagrotta 101

Termovalorizzatori 104

Trattamento meccanico biologico 109

Qualità dell'aria 113

Discariche 113

Area complessa di Malagrotta 118

Termovalorizzatori 120

Trattamento meccanico biologico 124

Fattori di pressione 127

Discariche 127

Area complessa di Malagrotta *136*
Termovalorizzatori *140*
Trattamento meccanico biologico *146*
Controlli e monitoraggi ambientali **152**
Discariche *153*
Area complessa di Malagrotta *154*
Termovalorizzatori *155*
Trattamento meccanico biologico *156*
Emissioni in aria prodotte dagli impianti **158**
Discariche *160*
Area complessa di Malagrotta *169*
Termovalorizzatori *172*
Trattamento meccanico biologico *176*
Indagini sperimentali (misure in campo/laboratorio) **180**
Discariche *180*
Area complessa di Malagrotta *188*
Termovalorizzatori *198*
Trattamento meccanico biologico *204*
Valutazione della qualità dell'aria **212**
Le informazioni meteorologiche utilizzate *212*
I campi meteorologici generati del Progetto MINNI *213*
Ricostruzioni meteorologiche sul Lazio *219*
Risultati meteorologici ottenuti *225*
Le situazioni a orografia più complessa *233*
La ricostruzione della turbolenza *237*
Il modello di dispersione degli inquinanti in aria *239*
Gli impianti considerati *245*
La ricostruzione dell'impronta degli impianti *247*
La metodologia impiegata *247*
Il footprint degli impianti *249*
Discariche *249*
Termovalorizzatori *256*
Area complessa di Malagrotta *259*
Conclusioni **264**
Discariche *270*

Area complessa di Malagrotta *280*
Termovalorizzatori *288*
Trattamento meccanico biologico *296*
Appendici **301**
Riferimenti bibliografici **303**

Volume 3

(E) RAPPORTO SALUTE **315**
Il disegno e la metodologia degli studi epidemiologici **316**
Introduzione *317*
Metodi *319*
Risultati *324*
Discussione e conclusioni *326*
Bibliografia *329*
Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione residente nei pressi delle discariche per i rifiuti urbani del Lazio **334**
Riassunto *335*
Introduzione *337*
Metodi *340*
Caratteristiche delle discariche *340*
Area in studio *340*
Indicatori di esposizione *341*
Disegno dello studio e definizione della coorte *342*
Selezione della popolazione in studio e follow-up della coorte *342*
Geocodifica della coorte e attribuzione delle variabili di confondimento *344*
Analisi statistica *345*
Risultati *348*
Caratteristiche degli impianti e della coorte *348*
Analisi della mortalità: confronto con la popolazione regionale *350*
Analisi della mortalità: confronto interno per distanza *351*
Analisi della mortalità: confronto interno per livelli di esposizione a H_2S *352*
Analisi delle persone ricoverate: confronto con la popolazione

regionale *353*
Analisi delle persone ricoverate: confronto interno per distanza ... *354*
Analisi delle persone ricoverate: confronto interno per livelli di esposizione a H_2S *355*
Discussione e conclusioni *356*
Bibliografia *361*
Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione residente nell'area di Malagrotta a Roma **384**
Riassunto *385*
Introduzione *388*
Metodi *391*
Area in studio *391*
Indicatori di esposizione per gli impianti considerati *392*
Valutazione dell'esposizione: modelli di dispersione *392*
Arruolamento della coorte e procedure di follow-up *394*
Esiti in studio *395*
Mortalità *395*
Ospedalizzazioni *395*
Altre informazioni individuali e fattori di confondimento *395*
Analisi dei dati *397*
Confronto interno nella coorte per distanza dagli impianti *398*
Confronto interno alla coorte per livello di esposizione ad inquinanti *398*
Il modello di Cox *398*
Risultati *399*
Dati descrittivi *399*
Analisi della mortalità: confronto interno per distanza *402*
Analisi della mortalità: confronto interno per livelli di esposizione a H_2S *403*
Analisi della mortalità: confronto interno per livelli di esposizione a SO_X *403*
Analisi della mortalità: confronto interno per livelli di esposizione a PM_{10} *404*
Analisi delle persone ricoverate: confronto interno per distanza *405*
Analisi delle persone ricoverate: confronto interno per livelli di

esposizione a H_2S *406*
Analisi delle persone ricoverate: confronto interno per livelli di esposizione a SO_X *406*
Analisi delle persone ricoverate: confronto interno per livelli di esposizione a PM_{10} *407*
Discussione e conclusioni *408*
Bibliografia *414*
Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione residente nei pressi degli termovalorizzatori di Colleferro e San Vittore del Lazio 447
Riassunto *448*
Introduzione *450*
Metodi *452*
Caratteristiche dei termovalorizzatori *452*
Disegno dello studio e selezione della popolazione *453*
Follow-up della coorte e assegnazione delle esposizioni *454*
Valutazione dell'esposizione: modelli di dispersione *454*
Esiti di salute *456*
Analisi statistica *456*
Risultati *459*
Discussione e conclusioni *465*
Bibliografia *468*
Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione residente nei pressi degli impianti per il trattamento meccanico-biologico dei rifiuti urbani del Lazio 484
Riassunto *485*
Introduzione *487*
Metodi *488*
Descrizione degli impianti *488*
Area in studio *488*
Indicatori di esposizione *488*
Arruolamento della coorte e procedure di follow-up *489*
Esiti di salute *490*
Altre informazioni individuali e fattori di confondimento *491*
Analisi statistica *492*

Risultati *492*
Conclusioni *494*
La salute riproduttiva delle donne residenti nei pressi dei termovalorizzatori e delle discariche per rifiuti urbani del Lazio 500
Riassunto *501*
Introduzione *503*
Metodi *504*
Caratteristiche degli impianti in studio *504*
Area in studio *504*
Popolazione in studio *505*
Definizione degli esiti *505*
Caratteristiche materne *506*
Caratteristiche ambientali *506*
Esposizioni *507*
Analisi statistica *510*
Risultati *511*
Discussione e conclusioni *513*
Bibliografia *518*
Valutazione epidemiologica dello stato di salute dei lavoratori addetti alla raccolta, trasporto e smaltimento dei rifiuti urbani a Roma 529
Riassunto *530*
Introduzione *531*
Metodi *533*
Disegno dello studio e definizione della coorte *533*
Follow-up delle coorti *534*
I fase: follow-up utilizzando i Sistemi Informativi *534*
II fase: follow-up condotto attraverso l'invio delle lettere ai comuni *535*
Analisi statistica *535*
Analisi di mortalità *535*
Analisi delle ospedalizzazioni *535*
Risultati *536*
Discussione e conclusioni *538*
Bibliografia *542*
Appendice allo studio *551*

Appendici

Schede impianti di gestione rifiuti urbani

Valutazione modellistica dell'impronta (footprint) degli impianti

Report:

Il Monitoraggio Della Qualita' dell'aria nei Pressi del Termovalorizzatore di San Vittore del Lazio (Fr)

Risultati e Confronti - Monitoraggi della Qualità dell'aria Impianti di termovalorizzazione dei Rifiuti nella Regione Lazio

Relazione conclusiva sullo stato della qualità dell'aria a Malagrotta nel periodo 13 giugno – 4 dicembre del 2008

Relazione conclusiva sullo stato della qualità dell'aria a Malagrotta nel periodo 7 Febbraio – 2 Aprile del 2009

Valutazione modellistica della qualità dell'aria nell'area di Colleferro

Valutazione ante-operam dei punti di massima ricaduta delle sostanze inquinanti emesse dall'impianto di gassificazione di Albano

Monitoraggio della qualità dell'aria nelle zone interessate dagli impianti di smaltimento dei rifiuti (periodo 2011-2012)

Tavole:

TAV.1 Fattori di sensibilità ambientale

TAV.2 Fattori di pressione – Emissioni totali annuali di PM_{10} [t/a]

TAV.3 Livello di concentrazione media annua di PM_{10} [$\mu g/m^3$]

TAV.4 Distribuzione spaziale dell'impronta degli impianti di trattamento dei rifiuti urbani

D/EP/Lazio
Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale - Regione Lazio

Regione Lazio

ARPALAZIO

Rapporto

"Epidemiologia Rifiuti Ambiente Salute nel Lazio - ERAS Lazio"

Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione esposta a processi di raccolta, trasformazione e smaltimento dei rifiuti urbani nella regione Lazio

Volume 1

(A) SINTESI E CONCLUSIONI

PREMESSA

La gestione dei rifiuti è un processo complesso che va dalla formazione, alla raccolta, al trasporto, fino alla trasformazione e allo smaltimento. Sono interessati migliaia di lavoratori e popolazioni diverse; i prodotti chimici che si generano durante lo smaltimento possono contaminare l'ambiente e molte sostanze sono tossiche per l'uomo. I risultati degli studi epidemiologici sono però spesso utilizzati in modo strumentale per suffragare tesi diverse, dal momento che il settore dei rifiuti è al centro di forti controversie ed interessi economici, spesso di natura contrapposta. Gli impianti di trattamento dei rifiuti sono poi localizzati in un contesto geografico e ambientale particolarmente complesso, in prossimità di centri urbani e industriali, complicando ulteriormente la valutazione del reale contributo di questi impianti sulla qualità dell'aria, del suolo o delle acque e di conseguenza, dei possibili effetti sanitari sulla popolazione interessata – lavoratori e residenti.

Il programma ERAS Lazio è nato proprio dalla consapevolezza che sono ancora inadeguate le prove scientifiche relative agli effetti sulla salute degli impianti di trattamento dei rifiuti, così come non sono ancora esaustive le informazioni relative a qualità e quantità delle sostanze emesse, per tecnologia utilizzata e tipologia dei rifiuti trattati.

Voluto dalla Direzione regionale Energia e Rifiuti, ERAS Lazio è un programma di epidemiologia ambientale, coordinato dal Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale in collaborazione con l'Agenzia regionale di Protezione Ambientale (ARPA) del Lazio. Il programma si è avvalso della collaborazione di ARPA Emilia-Romagna per l'esperienza acquisita nel progetto Moniter (http://www.arpa.emr.it/moniter/). Il programma Eras Lazio è stato istituito ai sensi della DGR n. 929/08 e della Legge finanziaria regionale n.31/2008 art.34.

I RIFIUTI NEL LAZIO

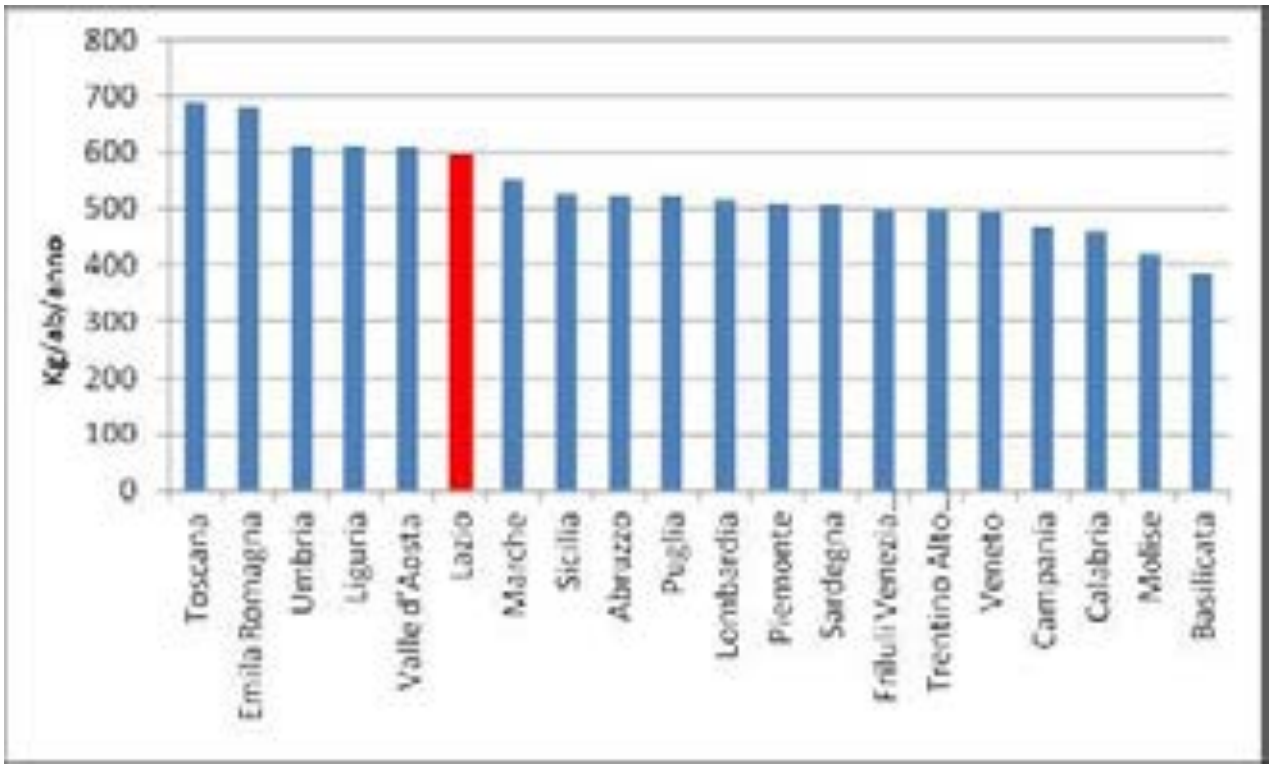
Al 2012 erano presenti sul territorio regionale 10 discariche per rifiuti urbani (9, considerando le due discariche adiacenti di Latina come un'unica struttura), 4 impianti di termovalorizzazione dei rifiuti (collocati uno nel comune di San Vittore del Lazio,

due adiacenti nel comune di Colleferro e l'ultimo nel comune di Roma, il gassificatore di Malagrotta), e 7 impianti per il trattamento meccanico biologico (TMB), di cui 3 annessi agli impianti di discarica (Figura 1).

Figura 1. Localizzazione geografica degli impianti per il trattamento dei rifiuti urbani nel Lazio

Il Lazio produce oltre 3,3 milioni di tonnellate di rifiuti urbani, con una produzione pro capite media di 601,7 kg/abitante. Un dato, quest'ultimo, che colloca la Regione tra le prime 5 in Italia per *produzione pro capite* (Figura 2).

Figura 2. Produzione pro capite di rifiuti per regione. Anno 2008



Fonte: ISPRA, Rapporto rifiuti 2009

Quasi il 77% della produzione è concentrata nella provincia di Roma, dove si registra anche il livello più alto di produzione pro capite (648 kg/ab/anno). I dati delle province di Roma e di Latina relativi alla produzione pro capite sono più elevati rispetto al panorama nazionale, collocandosi rispettivamente al 21-esimo e al 28-esimo posto rispetto alle province capoluogo di regione. Le province di Viterbo, Rieti e Frosinone registrano invece valori di produzione pro capite inferiori alla media nazionale.

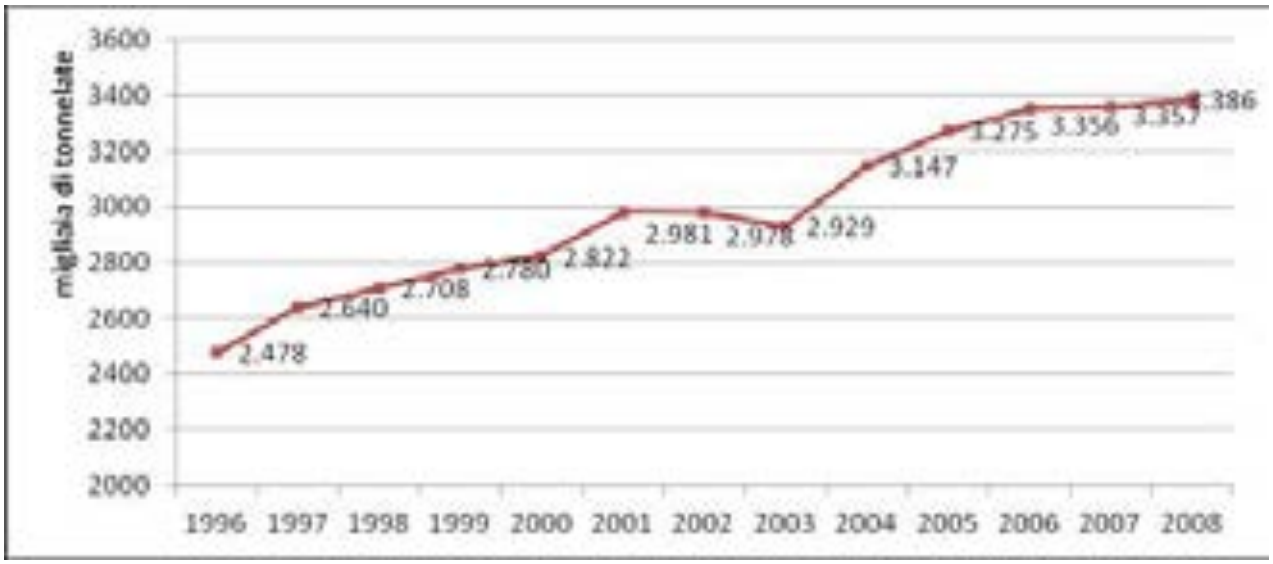
Nel periodo 1996-2008 la produzione di rifiuti nella Regione è passata da 2,5 a 3,3 milioni di tonnellate con un andamento irregolare: mentre nel primo quinquennio si è registrato una crescita media del 3,7 per cento annuo, nel periodo 2002-2003 la produzione di rifiuti urbani è diminuita, per riprendere a crescere nell'anno successivo, seppur a ritmi più contenuti (Tabella 1)

Tabella 1. Produzione di rifiuti. Dati per provincia (Anno 2008)

Provincia	Rifiuti prodotti (t)	Rifiuti prodotti per provincia (%)	Produzione pro capite (kg/ab/anno)
Frosinone	222.987	6,59%	448,7
Latina	317.750	9,38%	495,1
Rieti	79.661	2,35%	501
Roma	2.601.875	76,85%	648,3
Viterbo	163.563	4,83%	518,4
Totale	**3.385.837**	**100,00%**	**601,7**

Fonte: Elaborazione Regione Lazio Det. 376 del 07/08/2010

Figura 3. Andamento della produzione totale rifiuti nel Lazio



Fonte: Elaborazione su dati ISPRA e Regione Lazio

OBIETTIVI DEL PROGRAMMA

Per rispondere in maniera esaustiva alle domande di conoscenza sul tema, il programma ha previsto l'analisi di diversi aspetti del trinomio *rifiuti, ambiente e salute* utilizzando un approccio integrato degli aspetti ambientali ed epidemiologici.

Il rapporto fornisce una risposta ai seguenti obiettivi del programma:

- Sintetizzare le conoscenze scientifiche disponibili sull'argomento;

- Censire le discariche di rifiuti urbani, gli impianti di trattamento meccanico e biologico (TMB), e i termovalorizzatori presenti nella regione Lazio;
- Stimare le emissioni in aria relative a ciascun impianto;
- Caratterizzare la popolazione potenzialmente esposta;
- Valutare gli effetti sulla salute della popolazione esposta agli impianti esistenti;
- Valutare le condizioni di salute dei lavoratori;
- Curare gli aspetti di comunicazione e di pubblicizzazione dei risultati del programma attraverso un sito web dedicato.

IL METODO

Il metodo sviluppato ha previsto l'integrazione di dati ambientali e socio-demografici su base geografica per la valutazione della esposizione della popolazione residente nelle aree circostanti gli impianti per il trattamento dei rifiuti regionali.

Per ogni impianto sono state create mappe con la relativa localizzazione geografica, compresi i comuni interessati, le *impronte al suolo* delle concentrazioni degli inquinanti emessi dagli impianti stessi (stimate attraverso modelli di dispersione elaborati da ARPA Lazio) e la popolazione residente georeferenziata.

Le analisi dei diversi fattori di impatto ambientale del ciclo rifiuti e delle aree territoriali di riferimento basata sulle serie storiche sono derivate dalle reti di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico e delle acque, dalle attività sperimentali di monitoraggio dedicato e dai controlli ambientali degli impianti. Le analisi sono state integrate con la valutazione delle emissioni e dei fattori di pressione dei diversi comparti antropici (traffico, industria) associata alla loro distribuzione spaziale sul territorio.

Si sono svolte quindi le seguenti attività:

⇒ Integrazione delle analisi ambientali mediante la conduzione di campagne sperimentali "ad hoc".

Le campagne, svolte con mezzi mobili e centraline rilocabili, hanno interessato l'area di Malagrotta, quella dei termovalorizzatori e quattro aree con presenza di discariche. Sono stati selezionati ambiti territoriali "tipo" (a campione) sui quali condurre campagne di rilevamento contemporaneo di "macroinquinanti" (PM_{10}, NO_2) da confrontare con i trend acquisiti dalla rete fissa. Sono stati anche misurati inquinanti specifici (IPA, Diossine, metalli) per valutare possibili impatti diretti e indiretti degli impianti oggetto dello studio. Si è così proceduto nella valutazione degli indici di esposizione della popolazione, anche per la necessità associata alle valutazioni epidemiologiche di fornire elementi conoscitivi più precisi circa lo stato di qualità ambientale in una finestra temporale (1996-2008) rilevante,

⇒ Individuazione mediante catene modellistiche di dispersione degli inquinanti atmosferici specializzate (sistema ARPA Lazio, RAMS-SPRAY) della distribuzione dei livelli di concentrazione medi attorno agli impianti.

Questa distribuzione costituisce, in linea di principio, il "footprint", cioè l'impronta specifica del singolo impianto sul territorio e quindi sulla popolazione potenzialmente esposta. In questo modo è stato possibile costruire un sistema di indicatori che tiene conto dei potenziali impatti derivati dal ciclo dei rifiuti e contemporaneamente di quelli dovuti alle altre sorgenti di inquinamento presenti sul territorio.

Gli studi epidemiologici hanno adottato un approccio di *coorte* retrospettivo. Le popolazioni studiate (coorti) sono rappresentate dagli abitanti dei comuni in prossimità degli impianti. Più precisamente, sono stati considerati i residenti entro un raggio di 5 km dal perimetro dagli impianti, ad eccezione dell'area di Malagrotta per la quale, considerata la complessità del sito, l'area è stata allargata a 7 km. Le coorti sono composte dalle persone residenti nelle aree oggetto dello studio al 1/1/1996 e da tutte quelle successivamente trasferitesi nelle aree fino al 31 dicembre 2003. L'approccio di coorte di popolazione, basato sulla ricostruzione della storia anagrafica di tutti gli individui residenti, il loro successivo follow-up e il computo dei tassi di occorrenza di malattia e di mortalità, è ritenuto in epidemiologia quello in grado di valutare in maniera più valida il nesso causale tra una esposizione e lo stato di salute di una particolare popolazione esposta.

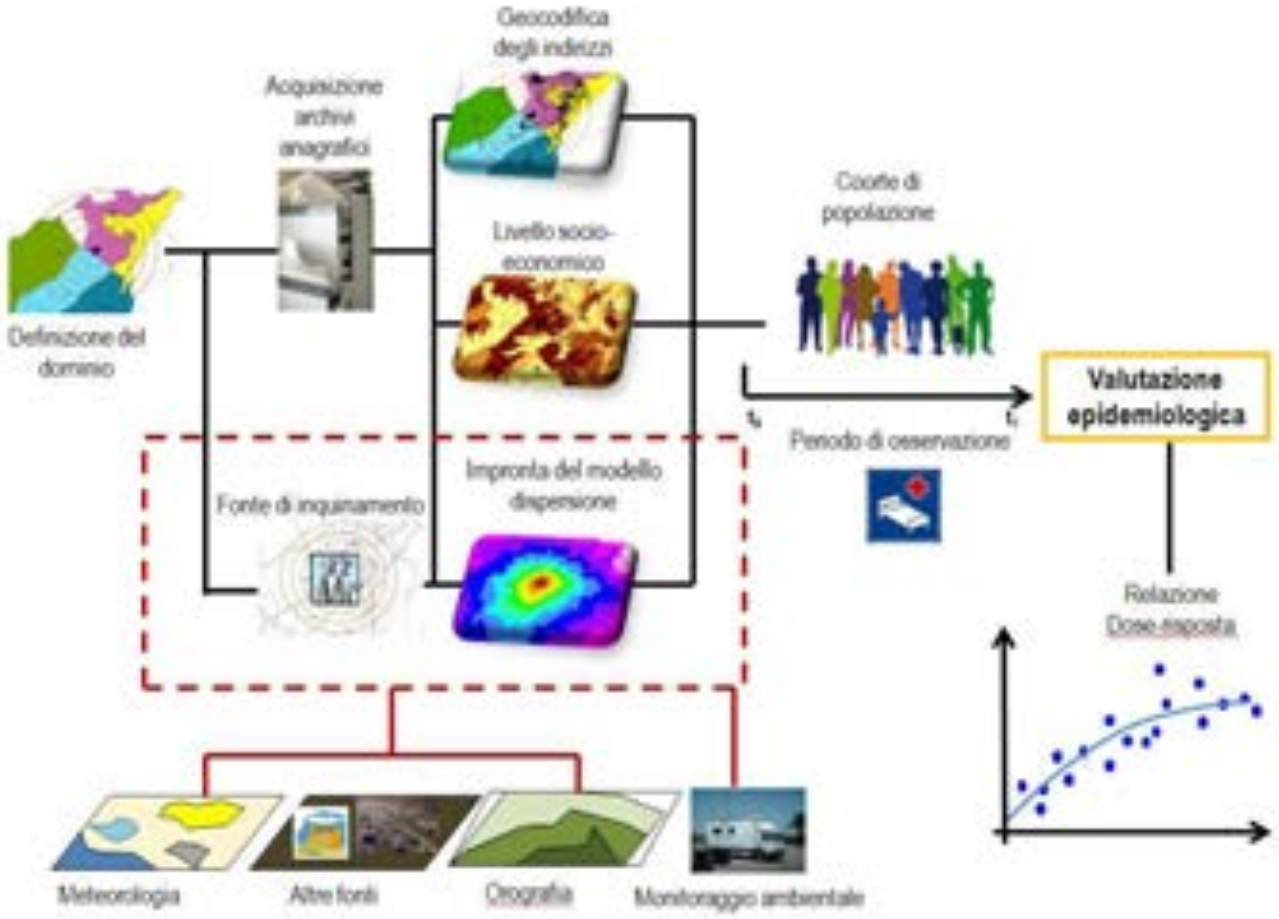
Le caratteristiche di esposizione considerate sono state:

1. la distanza dal perimetro di ogni impianto in studio;
2. la stima della esposizione individuale a concentrazioni degli inquinanti scelti come traccianti degli impianti (idrogeno solforato (H2S) per le discariche e polveri fini (PM_{10}) per i termovalorizzatori); nel caso degli impianti di Trattamento Meccanico Biologico è stato considerato come "tracciante" un inquinante generico.

Gli esiti sanitari di interesse (relativi al periodo 1996-2010) sono stati accertati con un follow-up individuale, attraverso i sistemi informativi di mortalità e di ricovero ospedaliero.

Nella figura 4 sono schematizzate le diverse fasi della valutazione integrata ambiente-salute ai fini dello studio epidemiologico del programma ERAS.

Figura 4. Schema dello studio epidemiologico – ambiente e salute



La valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione residente intorno agli impianti ha considerato sia gli effetti a breve termine (esiti della gravidanza,

ricoveri ospedalieri per cause respiratorie e cardiovascolari), sia quelli a lungo termine (mortalità, ospedalizzazioni).

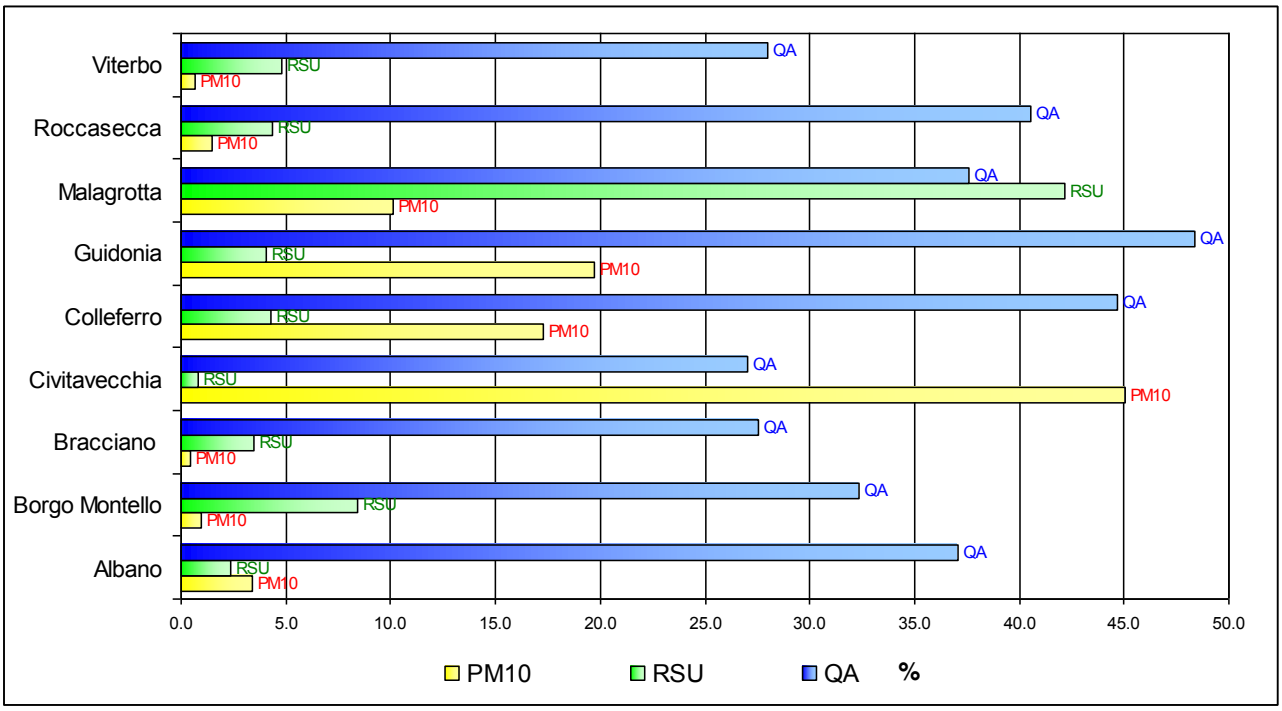
La misura di associazione tra gli indicatori di esposizione (distanza e concentrazioni di inquinanti) e mortalità/morbosità per causa specifica è il Rischio Relativo (RR), stimato da modelli logistici o da modello di sopravvivenza di Cox. Il RR è calcolato come rapporto tra due rischi di morire (o contrarre la malattia) ed esprime l'eccesso (o il difetto) di rischio del gruppo di interesse rispetto al gruppo di confronto (non esposto). Per esempio, se per il gruppo *A* il RR di mortalità rispetto al gruppo *B* (riferimento) risulta pari a 1.58, si può concludere che i soggetti del gruppo *A* hanno un rischio di morte del 58% superiore a quello del gruppo *B*. Viceversa, se per il gruppo *C* il RR di mortalità è pari a 0.50, i soggetti di questo gruppo hanno un rischio di morte dimezzato rispetto a quello osservato tra i soggetti di riferimento. Le analisi sono state condotte per gli uomini e le donne separatamente e sono stati valutati come possibili fattori di confondimento (e quindi considerati nella analisi statistica) l'età, il periodo di calendario, il livello socio-economico della sezione di censimento corrispondente, l'inquinamento atmosferico di fondo, la residenza in prossimità di strade principali, autostrade e complessi industriali.

RISULTATI

Il Sistema discariche

Il sistema delle discariche dei rifiuti urbani della regione Lazio è costituito da 9 siti distribuiti rispettivamente uno nelle provincie di Viterbo (un impianto), Frosinone (un impianto) e Latina (2 impianti) e i restanti nella provincia di Roma. Tale sistema, data la significativa differenza delle popolazioni servite, si caratterizza per capacità di smaltimento molto differenti a partire dal sito di Civitavecchia con circa 50.000 t/anno in media, a quello di Malagrotta con più di 1.000.000 t/anno. I siti sono caratterizzati da fattori di impatto ambientale (emissioni complessive dell'area e emissioni specifiche da impianti rifiuti) e relative caratteristiche di inquinamento atmosferico significativamente differenti anche rispetto alla popolazione potenzialmente interessata. L'analisi condotta su un areale di riferimento di circa 27 Km^2 attorno agli impianti viene rappresentata nel grafico successivo (Figura 5).

Figura 5. Confronto tra quantità di rifiuti trattate e indicatori di qualità dell'aria



PM_{10}: emissioni di particolato fine valori normalizzati rispetto al totale degli impianti (%);

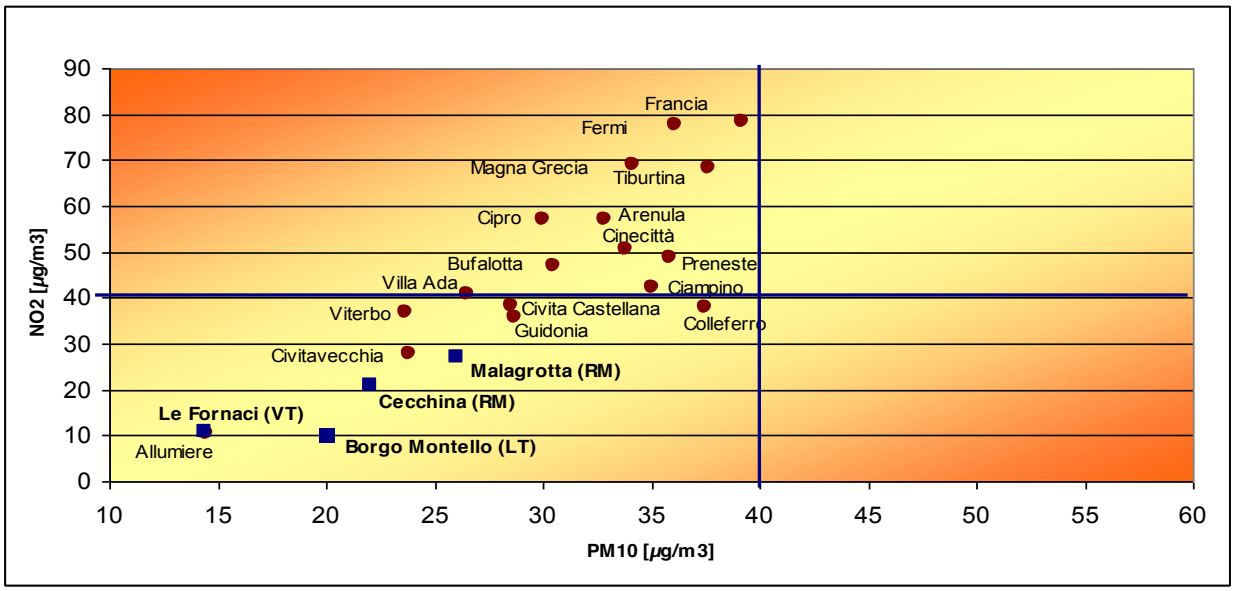
QA - qualità dell'aria: livelli di concentrazione media annua di PM_{10} normalizzati rispetto al limite di legge espresso pari a 50%;

RSU- rifiuti urbani: totale annuo smaltito normalizzato rispetto al totale trattato dagli impianti

I siti sono caratterizzati da un rapporto tra le quantità di rifiuti smaltiti e i livelli di emissione di inquinanti, dovuti al complesso delle sorgenti antropiche, che varia da 0.02 a Civitavecchia (presenza di impianti di produzione energia) a più di 4 a Malagrotta. Dal punto di vista ambientale, i fattori di pressione che condizionano il potenziale impatto epidemiologico evidenziano uno spettro ampio di situazioni tra la conduzione e la gestione delle discariche e le altre attività presenti sul territorio. Dall'analisi del grafico si può osservare che il complesso dei 9 siti, dal punto di vista dei fattori di pressione, è caratterizzato in 2 gruppi principali, il primo identificato dalla presenza di un'importante componente di emissioni industriali e da traffico (Malagrotta, Colleferro, Civitavecchia e Guidonia) e il secondo dove la presenza delle discariche è associata a fattori di pressione tipici di aree a vocazione urbanistica mista. Utilizzando gli indici di qualità dell'aria, come fattori di supporto alle valutazioni epidemiologiche, si osserva che nei siti indagati, per quanto riguarda il PM_{10}, i valori stimati per via modellistica presentano un rapporto rispetto al limite di legge che varia tra il 25% (es. Civitavecchia) ed il 95% (es. Colleferro).

Le indagini sperimentali condotte attraverso la rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria e le campagne dedicate mettono in evidenza (Figura 6) che i livelli di concentrazione di PM_{10}-NO_2 registrati negli areali degli impianti sono generalmente caratteristici di aree a vocazione urbanistica mista in aree limitrofe ai centri urbani e quindi con livelli di concentrazione generalmente inferiori alle stazioni urbane/traffico. È importante sottolineare che queste analisi condotte con riferimento al periodo 2008-2011 devono essere lette in relazione al periodo di riferimento dell'indagine epidemiologica (1996-2008) nel quale la rete regionale ha registrato valori di concentrazione mediamente superiori di circa il 22% ed il 13% rispettivamente per il PM_{10} e per l'NO_2 calcolati sull'intero territorio regionale. La valutazione complessiva del sistema ambientale ed epidemiologico ha quindi tenuto in considerazione questi elementi di variabilità e di trend temporale dell'evoluzione dell'inquinamento ambientale.

Figura 6. Distribuzione dei livelli medi di concentrazione di PM_{10} e NO_2 rilevati dalla rete regionale e dalla campagne sperimentali (2008-2011)



Il potenziale impatto "epidemiologico" degli impianti è stato analizzato mediante la costruzione della loro "impronta" (footprint) sul territorio stimata mediante la valutazione modellistica dei livelli medi annui di concentrazione di idrogeno solforato (utilizzato come tracciante delle discariche) (si veda Figura 7 come esempio). L'impronta delle discariche valutata in correlazione con quella relativa alla modellizzazione di tutte le altre sorgenti antropiche, ha permesso di costruire un quadro di riferimento rispetto alla popolazione potenzialmente esposta. In questo

modo si è analizzato e valorizzato il differente spettro di emissione degli impianti rifiuti (debole emissione di PM_{10} e NOx e emissioni di H_2S e composti organici) rispetto alle sorgenti di tipo traffico e/o industriale da combustione.

Figura 7. Impronta della discarica di Borgo Montello (LT). Concentrazioni di H_2S stimate dal modello di dispersione

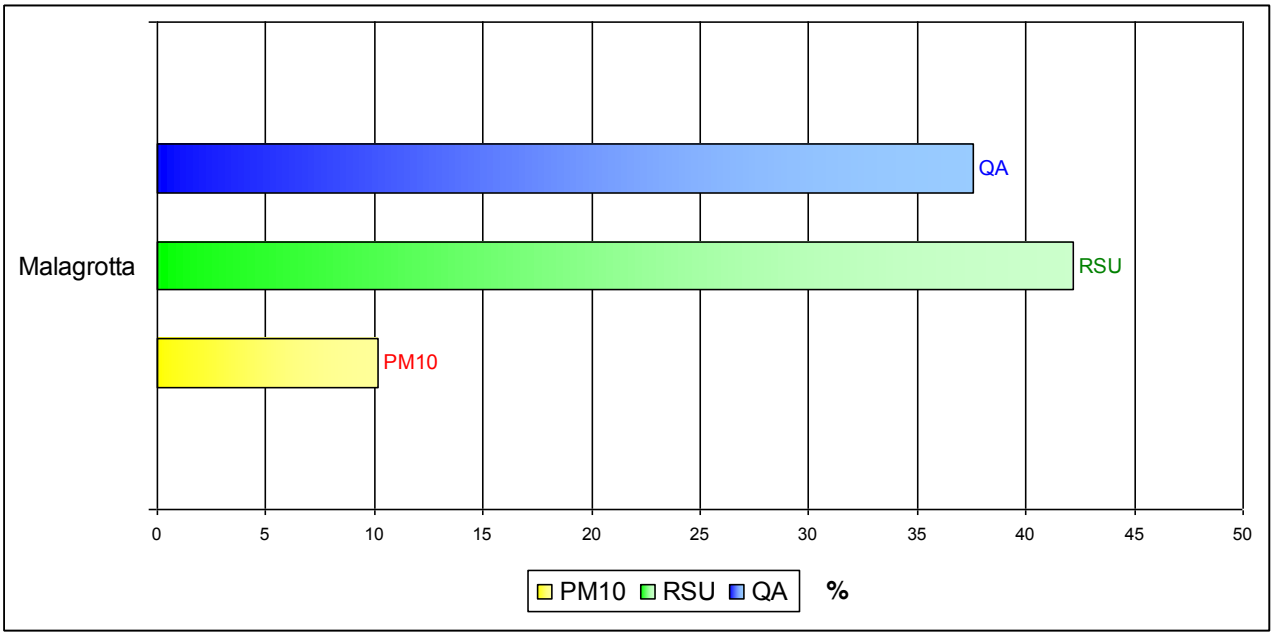
Lo studio epidemiologico di coloro che risiedono entro i cinque km dagli impianti di discarica del Lazio ha coinvolto 242.409 soggetti, dei quali 26.662 (11%) residenti entro 2 km dai siti. I confronti di mortalità interni alla coorte per valutare l'effetto della distanza e della concentrazione di Idrogeno solforato (H_2S), considerato tracciante dell'impatto degli impianti, non hanno mostrato variazioni di eccessivo rilievo. Alcuni effetti sanitari, tuttavia, sono stati riscontrati analizzando le ospedalizzazioni. Tra gli uomini residenti in zone a più alte concentrazioni di H_2S risultano livelli di ospedalizzazione più elevati per malattie del sistema respiratorio (+26%) e tumore della vescica (+59%) rispetto a coloro che risiedono in aree a basso impatto potenziale. Tra le donne più esposte si sono osservati livelli ospedalizzazione più elevati per asma (+62%) e malattie del sistema urinario (+27%).

Un caso specifico: Area complessa Malagrotta

Il territorio di Malagrotta è caratterizzato da un'elevata concentrazione di impianti industriali, quali la raffineria di Roma, il gassificatore, l'impianto di incenerimento dei rifiuti ospedalieri dell'AMA, e il "complesso impiantistico di Malagrotta" che è costituito da un impianto di discarica per rifiuti urbani al quale sono connessi due impianti per il Trattamento Meccanico Biologico dei rifiuti, denominati rispettivamente Malagrotta 1 e Malagrotta 2, e cave per l'estrazione di materiali da costruzione.

L'analisi ambientale, finalizzata alle valutazioni epidemiologiche, indica che l'area è caratterizzata da livelli di emissione di PM_{10} pari a circa il 10% delle emissioni totali dei siti di discarica del Lazio a fronte di una percentuale di rifiuti trattati di circa 45%.

Figura 8. Confronto livelli di rifiuti trattati e indicatori di qualità dell'aria



PM_{10}: emissioni di particolato fine con valori normalizzati rispetto al totale degli impianti (%);
QA - qualità dell'aria: livelli di concentrazione media annua di PM_{10} normalizzati rispetto al limite di legge espresso pari a 50%;
RSU- rifiuti urbani: totale annuo smaltito normalizzato rispetto al totale trattato dagli impianti

Oltre alla presenza di strutture industriali, l'area di Malagrotta si caratterizza per una significativa presenza di rilevanti arterie da traffico. Mediamente nell'arco temporale di riferimento 1996-2008 si sono registrati livelli di emissione medi annui di ossidi di azoto e di ossidi di zolfo rispettivamente pari a circa il 3% e il 28% delle emissioni stimate sull'intero comune di Roma. La significativa incidenza delle emissioni di ossidi di zolfo è da mettere in relazione alle emissioni industriali presenti nell'area e alla

contemporanea riduzione delle emissioni sull'intero comune di Roma dovuta alle politiche di contenimento promosse nell'arco degli ultimi 15 anni. Nell'area quindi insistono sorgenti di emissione con profili caratteristici fortemente differenziati sia nelle quantità annue che per tipologia di inquinante emesso (NOx e PM_{10} prevalentemente da sorgenti di combustione e traffico, composti organici con profili specifici per ogni tipologia di impianto).

L'analisi degli indici di qualità dell'aria, valutati sia attraverso stime modellistiche che per mezzo di misure sperimentali, indica un livello di concentrazione medio annuo di PM_{10} e di NO_2 pari a circa il 75% del limite previsto dalla normativa vigente. Il confronto con le diverse tipologie di aree del comune di Roma mostra che l'area di Malagrotta presenta valori massimi di NO_2 e PM_{10} inferiori a quelli di zona a forte traffico urbano e valori minimi superiori a quelli registrati in aree residenziali e rurali.

Un ulteriore elemento che caratterizza il potenziale impatto delle aree a elevata complessità come Malagrotta è l'analisi della distribuzione dei livelli di concentrazione in aria di microinquinanti (metalli e idrocarburi policiclici aromatici) in rapporto alle concentrazioni di PM_{10}. Tale indice ha un valore massimo pari a circa 3 per l'area di Malagrotta, da confrontare con un valore di circa 2.5 per le aree prevalentemente residenziali e caratterizzate da traffico (es. Tiburtina, Corso Francia).

A supporto dell'indagine epidemiologica sono state stimate le impronte relative agli impianti presenti nell'area al fine di fornire elementi per la discriminazione dei potenziali percorsi d'impatto sulla popolazione residente. In particolare, sono stati realizzati modelli di dispersione per quanto riguarda la raffineria (SO_x) e l'inceneritore di rifiuti ospedalieri (PM_{10}) e di H_2S per l'impianto di discarica.

Lo studio epidemiologico ha messo in evidenza tra le 85.559 persone residenti entro 7 km dalla discarica di Malagrotta, un quadro di mortalità tra le persone più esposte in gran parte paragonabile con quello osservato nella popolazione di riferimento. Fanno eccezione le patologie del sistema circolatorio (donne) e dell'apparato respiratorio (uomini) che sono aumentate tra i residenti nell'area più prossima agli impianti. Per le patologie tumorali, si osserva tra le donne un eccesso di tumore della laringe e della mammella nelle zone più prossime. Rispetto a coloro che abitano lontano dagli

impianti dell'area, i residenti più prossimi ricorrono più frequentemente alle cure ospedaliere, in particolare per malattie circolatorie, urinarie e dell'apparato digerente.

Per quanto riguarda i risultati relativi alla valutazione dell'impatto potenziale definito dall'impronta dei diversi impianti, si è riscontrata nelle donne più esposte ad H_2S (impronta discarica) e SO_X (impronta raffineria) una maggiore frequenza (circa il 35% in più rispetto al riferimento) di tumori della laringe e della vescica. Limitatamente ai ricoveri, si è osservata un'associazione tra H_2S e malattie del sistema circolatorio (donne). L'SO_X (impronta raffineria) è risultato associato a malattie dell'apparato respiratorio (uomini) e a tumore della laringe tra le donne. L'esposizione a PM_{10} (impronta inceneritore) è risultata associata prevalentemente a patologie dell'apparato respiratorio, a tumore del pancreas (uomini), a tumore della laringe, del fegato e della mammella (donne).

Alcune delle associazioni emerse, considerando la distanza dagli impianti o la concentrazione stimata degli inquinanti scelti come traccianti (H_2S, SO_X e PM_{10}), sono basate su pochi casi ma sono coerenti per le diverse analisi effettuate (mortalità e ricoveri) e sono potenzialmente attribuibili all'inquinamento prodotto nei passati decenni dagli impianti industriali presenti nell'area. Tuttavia, poiché l'interazione e quindi l'impronta dei diversi impianti presenti nell'area è complessa, l'impatto epidemiologico "fotografa" la sovrapposizione di effetti variamente stratificati nell'arco del decennio di riferimento ed è quindi molto difficile determinare quali siano le emissioni (e di conseguenza gli impianti) che sono maggiormente responsabili degli effetti riscontrati.

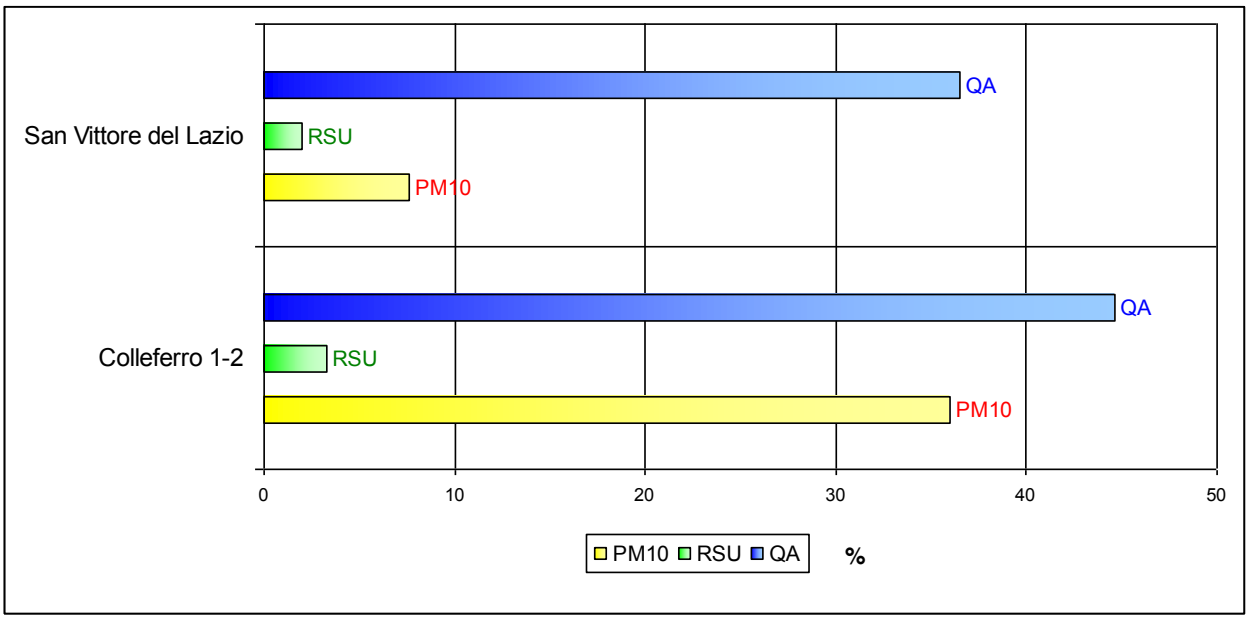
Termovalorizzatori

Come indicato, nel Lazio sono attivi quattro impianti di termovalorizzazione dei rifiuti, collocati uno nel comune di San Vittore del Lazio, due nel comune di Colleferro (adiacenti) e l'ultimo nel comune di Roma (gassificatore). Il gassificatore non è stato considerato nello studio complessivo in quanto la sua entrata in esercizio è molto recente ed è posteriore alla finestra di riferimento temporale oggetto di studio.

I due areali interessati dagli impianti, sono soggetti a fattori di pressione molto differenti. L'area di Colleferro, al contrario di San Vittore, è interessata dalla presenza di impianti industriali di qualche rilevanza e comunque dalla vicinanza di infrastrutture

di trasporto significative. Le quantità di rifiuti smaltiti sono del tutto paragonabili per i due siti mentre il carico emissivo, in termini di PM_{10}, è sostanzialmente differente, come si osserva nella Figura 9.

Figura 9. Confronto quantità di rifiuti trattati e indicatori di qualità dell'aria



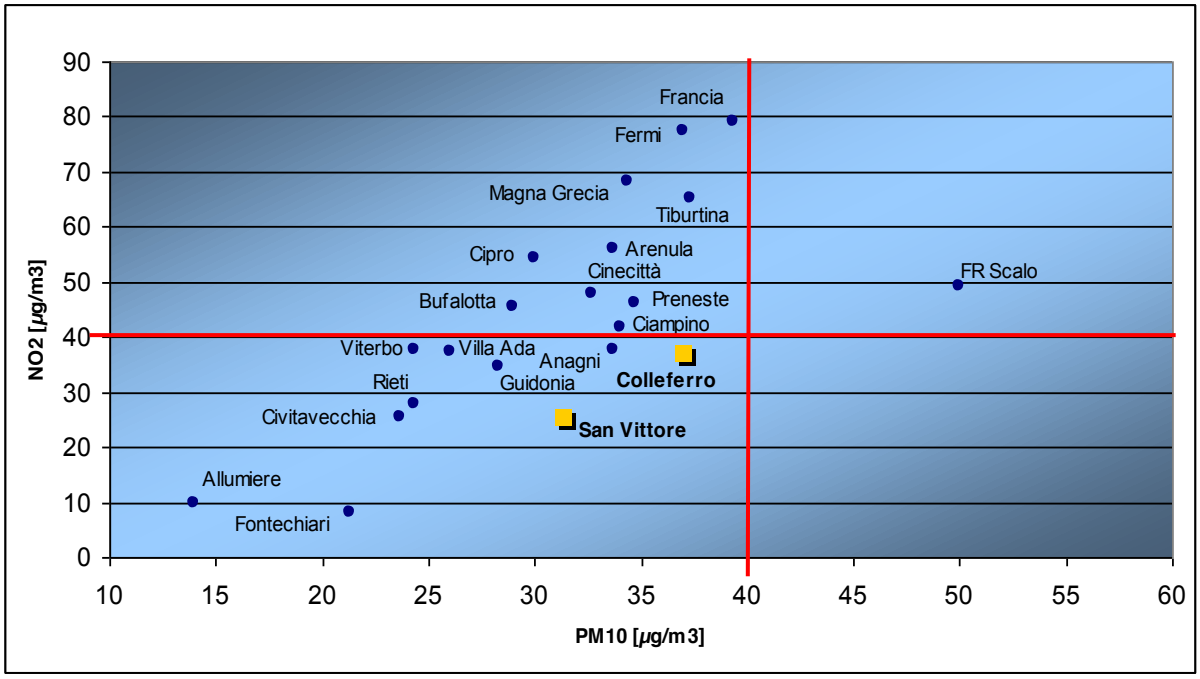
PM_{10}: emissioni di particolato fine valori normalizzati rispetto al totale degli impianti (%);

QA - qualità dell'aria: livelli di concentrazione media annua di PM_{10} normalizzati rispetto al limite di legge espresso pari a 50%;

RSU- rifiuti urbani: totale annuo smaltito normalizzato rispetto al totale trattato dagli impianti

La valutazione degli indici di qualità dell'aria stimata, sia per via modellistica sia dal punto di vista sperimentale (vedi Figura 9), mette in evidenza come l'areale di Colleferro sia sostanzialmente in condizione di maggiore criticità rispetto a quello di San Vittore del Lazio. A questo livello di criticità concorre anche la posizione geografica dell'area di Colleferro che soffre di condizioni meteo-climatiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti e quindi al loro accumulo nei bassi strati dell'atmosfera.

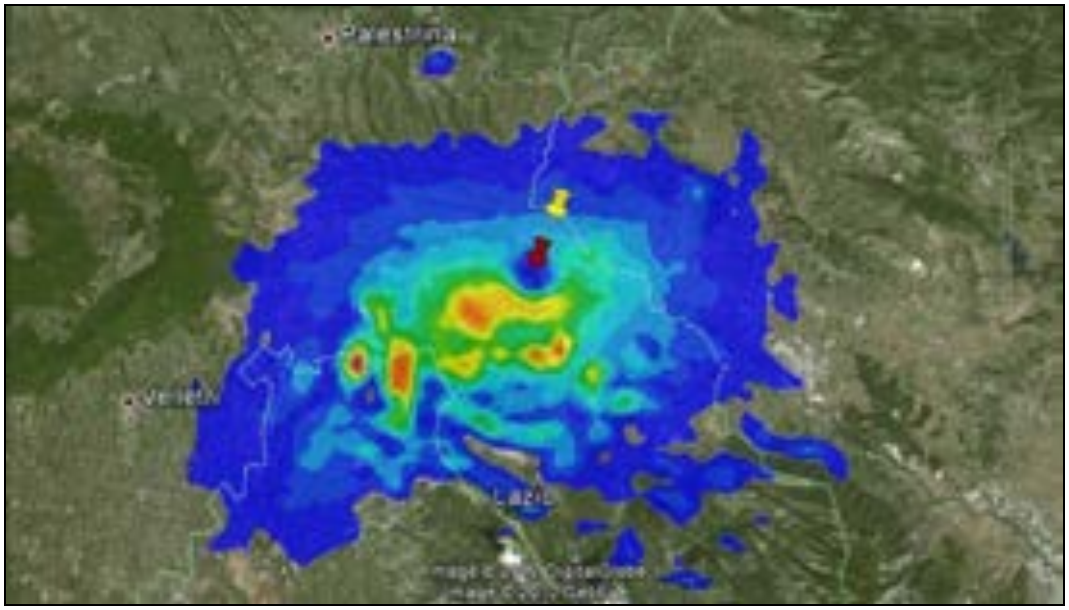
Figura 10. Confronto tra le medie annuali delle centraline regionali della provincia di Roma e di Frosinone (2008-2010) e le medie finali delle campagne sperimentali



Analogamente a quanto si è osservato per l'area di Malagrotta, anche i siti dei termovalorizzatori sono caratterizzati da un rapporto tra microinquinanti in aria e concentrazione di PM_{10} riferibile a zone a vocazione industriale e con importanti infrastrutture di trasporto.

Il potenziale impatto "epidemiologico" degli impianti di termovalorizzazione dei rifiuti urbani è stato analizzato mediante la elaborazione della loro "impronta" (footprint) – sul territorio stimata mediante la valutazione modellistica dei livelli medi annui di concentrazione di PM_{10} (Figura 11).

Figura 11. Impronta del termovalorizzatore di Colleferro. Concentrazioni di PM_{10} stimate dal modello di dispersione



L'impronta dei termovalorizzatori, valutata in correlazione con quella relativa alla modellizzazione di tutte le altre sorgenti antropiche presenti sulle aree, ha permesso di costruire un quadro di riferimento rispetto alla popolazione potenzialmente esposta.

Lo studio epidemiologico effettuato sui residenti nei pressi dei termovalorizzatori di Colleferro e San Vittore ha preso in considerazione solo il ricorso alle cure ospedaliere della popolazione (e non la mortalità). Entrambi gli impianti infatti sono relativamente recenti, essendo in attività dalla fine del 2002. Lo studio ha considerato i tassi di ospedalizzazione per causa dei residenti, nel periodo 1996-2010, potenzialmente dovuti al contributo aggiuntivo all'inquinamento ambientale delle emissioni dei termovalorizzatori (PM_{10} impronta impianti), confrontando la frequenza relativa di ospedalizzazioni nei periodi pre e post termovalorizzatori. Sono stati arruolati 47.192 residenti tra il 1996 e il 2008. L'analisi della morbosità associata all'inquinamento prodotto dai termovalorizzatori dopo la loro entrata in funzione ha evidenziato, per i residenti di sesso maschile nelle zone ad alta esposizione, un eccesso di ospedalizzazioni per malattie dell'apparato respiratorio (+26%) e malattie polmonari cronico ostruttive (+86%). Tra i bambini (0-14 anni) si osserva un aumento dei ricoveri per cause naturali e malattie dell'apparato respiratorio a seguito della attivazione degli impianti nella zona ad alta concentrazione di PM_{10}.

Lo studio sugli esiti della gravidanza delle donne residenti nei pressi dei termovalorizzatori ha considerato come esiti principali la gemellarità, il rapporto tra sessi, la frequenza di nati pretermine (con età gestazionale < 37 settimane, esclusi i gemelli), il basso peso alla nascita (nati a termine con peso <2500gr), il basso peso alla nascita tra i nati a termine (nati a termine con peso <2500gr, esclusi i gemelli ed i nati pretermine) e i piccoli per età gestazionale (neonati di peso in grammi inferiore o uguale al 10° percentile previsto per la settimana di gravidanza e per il sesso del neonato). Per nessuno degli esiti sanitari sono state evidenziate differenze tra i bambini nati da mamme residenti nelle aree a più elevata concentrazione di inquinanti emessi dai termovalorizzatori rispetto ai bambini nati da mamme residenti nelle zone di riferimento.

Impianti per il Trattamento Meccanico Biologico dei rifiuti

Il trattamento meccanico-biologico (TMB) è una tecnologia di trattamento a freddo dei rifiuti indifferenziati (e/o avanzati dalla raccolta differenziata) che sfrutta l'abbinamento di processi meccanici a processi biologici quali la digestione anaerobica e il compostaggio. Appositi macchinari separano la frazione umida (l'organico da bioessicare) dalla frazione secca (carta, plastica, vetro, inerti ecc.); quest'ultima frazione può essere in parte riciclata oppure usata per produrre combustibile derivato dai rifiuti (CDR) rimuovendo i materiali incombustibili.

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 dai TMB di Rocca Cencia e Roma Salaria (Comune di Roma). L'accertamento dello stato in vita fino al 31 dicembre 2008 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 la concentrazione di un tracciante generico proveniente da un impianto di TMB, stimata attraverso un modello di dispersione. E'stata valutata l'associazione tra l'indicatore di esposizione e l'accesso alle cure ospedaliere per tutte le cause, malattie dell'apparato cardiovascolare e respiratorie tenendo conto di numerose variabili: sito, età, variabili socio-economiche individuali e di area, PM10 come indicatore di inquinamento atmosferico di fondo, residenza in prossimità di strade principali,

autostrade e industrie. La coorte è composta da 265,052 persone, delle quali 8.933 residenti in zone in cui si osserva la massima ricaduta dell'inquinante "tracciante" emesso dagli impianti (gruppo dei più esposti). I tassi di ospedalizzazione generale della popolazione esposta a più alti livelli dell'inquinante generico non differiscono da quelli della popolazione non esposta. Anche per le malattie dell'apparato circolatorio e respiratorio non si è riscontrata alcuna associazione tra l'esposizione in studio e il ricorso ai ricoveri ospedalieri.

Lavoratori del settore rifiuti

Oltre alla valutazione della popolazione residente, sono state studiate le condizioni di salute dei lavoratori nel settore della raccolta e del trattamento dei rifiuti a Roma. E' stata arruolata una coorte composta dai 6839 (18.6% donne) lavoratori in servizio al 01/01/1994, o successivamente assunti fino al 31/12/2009 (fine follow-up), con un periodo di impiego di almeno cinque anni. Sono state analizzate tre categorie occupazionali: addetti alla raccolta, alla discarica, autisti. Sono stati calcolati i rapporti standardizzati di mortalità (SMR) e di ospedalizzazione (SHR), aggiustati per età, specifici per causa e genere.

Lo studio non ha evidenziato particolari effetti sulla mortalità tra i lavoratori di entrambi i sessi. Tra le lavoratrici, tuttavia, sono stati osservati eccessi di morbosità per cause respiratorie, gastrointestinali e per traumatismi.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Pur con i limiti dovuti alla complessità delle aree e delle esposizioni considerate, il programma ERAS Lazio ha delineato un quadro dei potenziali effetti sanitari nelle popolazioni esposte agli impianti di smaltimento dei rifiuti. In generale, l'indagine non ha trovato particolari scostamenti nella mortalità totale rispetto ad altre aree non interessate da impianti di questo genere. Tuttavia ha messo in luce alcune criticità nei tassi di ospedalizzazione e le associazioni emerse nei diversi studi sono potenzialmente attribuibili all'inquinamento prodotto dagli impianti per il trattamento dei rifiuti nei decenni passati.

L'integrazione delle competenze ambientali e sanitarie è risultata determinante nella valutazione dell'impatto del ciclo di gestione dei rifiuti urbani per la complessità del contesto territoriale in cui sono localizzati gli impianti. Si tratta di contesti anche fortemente urbanizzati e/o con la presenza di altre sorgenti (rete stradale, impianti

industriali, impianti di riscaldamento domestico) di inquinamento che hanno reso necessaria l'applicazione di sofisticati modelli di dispersione degli inquinanti per la caratterizzazione della popolazione potenzialmente coinvolta.

In effetti, l'analisi ambientale riferita alle reti di monitoraggio, ai sistemi sperimentali evoluti e alle tecniche modellistiche di valutazione degli impatti è stata in grado di supportare l'indagine epidemiologica su archi temporali presenti e passati, garantendo una maggiore accuratezza per le aree di indagine e gli elementi discriminanti delle diverse forme di contaminazione. L'approccio integrato ha reso disponibili informazioni utili a valutare l'impatto ambientale e sanitario del ciclo dei rifiuti urbani, a definire piani di monitoraggio e controllo finalizzati ad approfondire gli aspetti critici e ad indagare nuovi potenziali impatti, a disporre di dati scientifici in grado di fornire informazioni tecnicamente valide ai cittadini.

ERAS Lazio ha coniugato una metodologia scientifica rigorosa e un livello di comunicazione accessibile ai cittadini. Un sito Internet dedicato al progetto (www.eraslazio.it) costituisce il veicolo fondamentale della comunicazione, necessario per la complessità del tema e la ricchezza quantitativa dei dati da rendere pubblici.

Sono tuttavia da considerare alcuni aspetti critici. Lo studio ha considerato con molta attenzione la *matrice aria*, ma non si può escludere un inquinamento a carico delle matrici *acqua e suolo* che per via alimentare può comunque arrivare all'uomo. Le concentrazioni di inquinanti stimati presso la residenza delle persone possono non rappresentare adeguatamente la reale esposizione, perché le persone non sono sempre nella loro abitazione, e questo studio non include tutte le informazioni riguardanti le attività quotidiane e il lavoro degli individui della coorte. Non è stato possibile controllare per i fattori di rischio individuali: il fumo di sigarette, l'alcol, l'attività fisica e l'obesità. Tuttavia è importante osservare che molte delle abitudini personali elencate sono associate allo stato sociale. È ragionevole dunque ritenere che la correzione effettuata nell' analisi statistica per gli indicatori di istruzione e di stato socio-economico abbia anche contribuito a tener conto delle variabili individuali non misurabili sperimentalmente.

Il programma ERAS Lazio ha le potenzialità per proseguire le proprie attività con campagne di misura e di biomonitoraggio per l'accertamento dell'esposizione e della contaminazione umana e per una valutazione integrata di diversi scenari delle politiche del ciclo dei rifiuti nella regione Lazio e del loro impatto sull'ambiente e sulla salute negli anni futuri, secondo tecniche già consolidate di Integrated Environmental and Health Assessment (IEHIA - www.integrated-assessment.eu).

(B) IL PROGRAMMA "EPIDEMIOLOGIA, RIFIUTI, AMBIENTE E SALUTE" DEL LAZIO (ERASLazio)

(DGR n. 929/08 e Legge finanziaria regionale n.31/2008 art 34)

DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGRAMMA

Il programma ERASLazio ha inteso fornire agli esperti, amministratori e al pubblico informazioni aggiornate e tecnicamente corrette sugli aspetti tecnici relativi agli impianti di trasformazione e smaltimento di rifiuti nel Lazio, sulle loro emissioni, sullo stato di salute della popolazione residente in prossimità degli impianti e sui lavoratori addetti, e sui possibili effetti nocivi della contaminazione ambientale.

In sintesi, il programma ERASLazio si proponeva di effettuare:

- Una sintesi delle conoscenze scientifiche sul tema.
- Una sintesi delle evidenze scientifiche disponibili relativi agli aspetti ambientali e sanitari connessi con la presenza di impianti per il trattamento e smaltimento dei rifiuti.
- Il censimento dei siti presenti nella regione Lazio.
- La raccolta delle informazioni relative alla localizzazione e alle caratteristiche strutturali per ciascun impianto per il trattamento dei rifiuti urbani.
- Una stima delle emissioni relative a ciascun impianto esistente o di futura realizzazione.
- Una valutazione delle emissioni derivanti da ciascun impianto e della qualità dell'aria e delle acque nelle zone adiacenti. Programmi di monitoraggio. Elaborazione di mappe di ricaduta degli inquinanti.
- La caratterizzazione della popolazione potenzialmente esposta.
- L'implementazione di un metodo di integrazione geografica di dati ambientali e socio-demografici per una valutazione ecologica della esposizione della popolazione residente nelle aree circostanti gli impianti della regione.
- Gli effetti sulla salute della popolazione esposta ad impianti già esistenti. Valutazione delle condizioni di salute della popolazione residente intorno agli impianti per lo smaltimento dei rifiuti esistenti in regione, indagando sugli effetti a breve e a lungo termine utilizzando un approccio geografico.
- La valutazione epidemiologica dello stato di salute dei lavoratori esposti.
- La valutazione dello stato di salute ex-ante delle popolazioni interessate dai nuovi insediamenti. Descrizione della situazione epidemiologica nell'area in studio utilizzando i dati della natalità, della mortalità e della morbosità dai sistema informativi sanitari della regione Lazio.

- La progettazione e il coordinamento di indagini speciali in situazioni di emergenza. Organizzazione di studi *ad hoc* in situazioni di emergenza ambientali con possibili ripercussioni sulla salute dei residenti o dei lavoratori.
- La formazione, comunicazione e pubblicizzazione dei risultati. Realizzazione di un sito Internet dedicato al progetto che costituirà il veicolo fondamentale della comunicazione ai decisori, ai cittadini, ai tecnici, ai media.

INTRODUZIONE

Lo smaltimento dei rifiuti è un argomento di interesse ambientale, sociale ed economico per tutti i paesi in via di sviluppo. In Europa si generano in media 200 milioni di tonnellate di rifiuti all'anno, derivanti principalmente da attività domestiche, commerciali, industriali e agricole e dalla produzione di energia. Il trattamento dei rifiuti, che include la formazione, la raccolta, il trasporto e lo smaltimento, ha implicazioni importanti sia a livello ambientale che di salute pubblica. Anche in Italia, la vicenda dei rifiuti in Campania, le proroghe allo smaltimento dei rifiuti nella discarica di Malagrotta di Roma, il dibattito sui contributi economici per gli impianti di incenerimento con recupero energetico, le polemiche sui nuovi impianti di incenerimento in Sicilia, in Emilia-Romagna e in Campania, hanno posto all'ordine del giorno il tema dei rifiuti, della loro produzione, del loro smaltimento, e dei possibili effetti sulla salute dei cittadini. Le ragioni della controversia sono comprensibili. La gestione di rifiuti è un processo complesso, dalla formazione alla raccolta, trasporto, trasformazione, e smaltimento. Sono interessate popolazioni diverse e migliaia di lavoratori, i prodotti chimici che si generano durante lo smaltimento possono contaminare l'ambiente e molte sostanze sono tossiche per l'uomo. Gli interessi economici sono grandi e spesso di natura contrapposta, e i risultati degli studi epidemiologici sono spesso utilizzati in modo strumentale. D'altra parte gli impianti di trattamento dei rifiuti sono localizzati in un contesto geografico e ambientale complesso, in prossimità di centri urbani e industriali, e ciò rende difficile la valutazione del reale contributo di questi impianti sulla qualità dell'aria (aspetti chimici e fisici) e di conseguenza sui possibili effetti sulla popolazione potenzialmente interessata (lavoratori e residenti), come dimostra l'inadeguatezza delle prove scientifiche finora a disposizione.

I risultati dei numerosi 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.[1,2] 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 consumo di prodotti o di acqua contaminati, il contatto con l'acqua o il suolo inquinati. 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.

Dalle indagini finora condotte, i principali motivi di preoccupazione riguardano una maggiore frequenza osservata di tumori[3], esiti riproduttivi, in particolare basso peso alla nascita e difetti congeniti come difetti del tubo neurale o difetti cardiovascolari[4], e malattie respiratorie, soprattutto asma[5]. Le evidenze che emergono dagli studi internazionali documentano tuttavia deboli evidenze di associazione tra residenza, sia nei pressi di discariche autorizzate che nei pressi di inceneritori di vecchia generazione, e rischio per la salute. 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.

Le popolazioni che vivono nei pressi degli inceneritori sono potenzialmente esposte a diverse sostanze per via inalatoria, per il consumo di cibo o acqua e il contatto con suoli contaminati. Tuttavia, non è semplice stabilire una relazione tra la presenza di sostanze inquinanti emesse da un inceneritore e specifici effetti sulla salute. Sono infatti numerosi i fattori che intervengono e possono influenzare il livello di esposizione (la quantità delle sostanze emesse, la distanza dell'impianto, l'altezza della ciminiera, la direzione dei venti) e i fenomeni sanitari (le abitudini personali - es. fumo, alcol, dieta - e lo status socio-economico).

Un inceneritore per il trattamento dei rifiuti solidi urbani emette varie sostanze: particolato (nelle frazioni fini ed ultrafini), ossidi di zolfo e di azoto, idrocarburi policiclici aromatici, diossine e furani, metalli, ecc. L'entità delle emissioni è regolamentata per legge e sottoposta a controlli in modo da ridurre al minimo la pericolosità per l'uomo. È difficile stabilire un nesso di causa-effetto fra le emissioni degli impianti di incenerimento e gli effetti sulla salute della popolazione esposta. In generale, gli studi che hanno riscontrato effetti sanitari sulla popolazione residente vicino agli inceneritori facevano riferimento a impianti ormai superati da un punto di vista delle emissioni e delle tecnologie. Gli inceneritori attualmente in funzione devono rispettare norme di emissione molto più stringenti, e in effetti – se correttamente utilizzati – emettono quantità di inquinanti notevolmente inferiori rispetto ai loro

predecessori (le quantità di diossine e i furani emessi dai nuovi impianti, per esempio, sono molto più basse rispetto ad altre fonti). Gli studi disponibili sui possibili effetti degli inceneritori riguardano soprattutto tumori (in particolare sarcoma dei tessuti molli e linfomi non-Hodgkin)[6 7]; esiti riproduttivi/malformazioni[8]; malattie respiratorie (soprattutto un peggioramento della funzionalità polmonare nei bambini e episodi di asma)[9].

OBIETTIVI DEL PROGRAMMA ERASLazio

Per rispondere in maniera esaustiva alle domande di conoscenza sul tema, il programma ha sviluppato i seguenti obiettivi specifici:

- sintetizzare le conoscenze disponibili sull'argomento;
- censire i siti presenti nella regione Lazio (discariche di rifiuti solidi urbani, impianti di riciclaggio, impianti di compostaggio, impianti di trattamento biologico e meccanico, termovalorizzatori, gassificatori);
- stimare le emissioni relative a ciascun impianto;
- caratterizzare la popolazione potenzialmente esposta;
- valutare gli effetti sulla salute della popolazione esposta agli impianti già esistenti misurati sia nel breve termine (esiti riproduttivi, malformazioni congenite, ricoveri ospedalieri per cause respiratorie e cardiovascolari), sia nel lungo termine (mortalità, incidenza di tumori);
- valutare le condizioni di salute dei lavoratori;
- valutare lo stato di salute dei residenti e della qualità dell'aria nelle aree interessate dalla costruzione di nuovi impianti per lo smaltimento dei rifiuti;
- curare gli aspetti di comunicazione e di pubblicizzazione dei risultati del programma attraverso un sito web dedicato (www.eraslazio.it).

Le aree e le popolazioni oggetto del programma sono quelle interessate dagli impianti di trattamento dei rifiuti solidi urbani nella regione Lazio. Sono di interesse anche le aree destinate ai futuri impianti.

Il programma è coordinato dal Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale del Lazio, in collaborazione con la Direzione regionale Energia e Rifiuti, Dipartimento Territorio della Regione Lazio, da ARPA Lazio. Il programma si avvale della collaborazione di ARPA Emilia-Romagna per l'esperienza acquisita nel progetto Monitor, delle attività delle Provincia di Roma, Frosinone, Latina e Rieti, nonché dalle strutture del Servizio Sanitario Regionale del Lazio.

Il presente rapporto, suddiviso in sezioni, riporta i principali risultati degli studi condotti. In particolare, la Sezione C, curata dalla Direzione Regionale Attività Produttive e Rifiuti della Regione Lazio, riporta le statistiche sui rifiuti nella regione; la Sezione D, curata da ARPA Lazio, riporta i risultati delle valutazioni ambientali; la Sezione E, curata dal Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale, riporta i risultati delle valutazioni epidemiologiche. Seguono le Appendici con dati studi dettagliati e integrazioni metodologiche.

BIBLIOGRAFIA

1. Porta et al. Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. *Environ Health* 2009; 23; 8:60.
2. WHO. Population health and waste management: scientific data and available options. 2007. http://www.euro.who.int/document/E91021.pdf
3. 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.
4. Elliot P, Richardson S, Abellan JJ, Thomson A, de Hoog C, Jaruo L, Briggs DJ. Geographic density of landfill sites and risk of congenital anomalies in England. *Occup Environ Med* 2009; 66:81-89.
5. Pukkala E, Pönkä A. Increased incidence of cancer and asthma in houses buuilt on a former dump area. *Environ Health Perspect* 2001; 109:1121-1125.
6. Elliott P, Shaddick G, Kleinschmidt I, Jolley D, Walls P, Beresford J, Grundy C. Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain. *Br J Cancer* 1996; 73:702-710.
7. Viel JF, Daniau C, Goria S, Fabre P, de Crouy-Chanel P, Sauleau EA and Empereur-Bissonnet P. Risk for non Hodgkin's lymphoma in the vicinity of French municipal solid waste incinerators. *Environ Health* 2008; 7:51.
8. Cordier S, Chevrier C, Robert-Gnansia E, Lorente C, Brula P, Hours M. Risk of congenital anomalies in the vicinity of municipal solid waste incinerators. *Occup Environ Med* 2004; 61:8-15.
9. Shy CM, Degnan D, Fox DL, Mukerjee S, Hazucha MJ, Boehlecke BA, Rothenbacher D, Briggs PM, Devlin RB, Wallace DD, Stevens RK, Bromberg PA. Do waste incinerators induce adverse respiratory effects? An air quality and epidemiological study of six communities. *Environ Health Perspect* 1995; 103:714-724.

(C) GESTIONE DEI RIFIUTI NEL LAZIO

1 PREMESSA

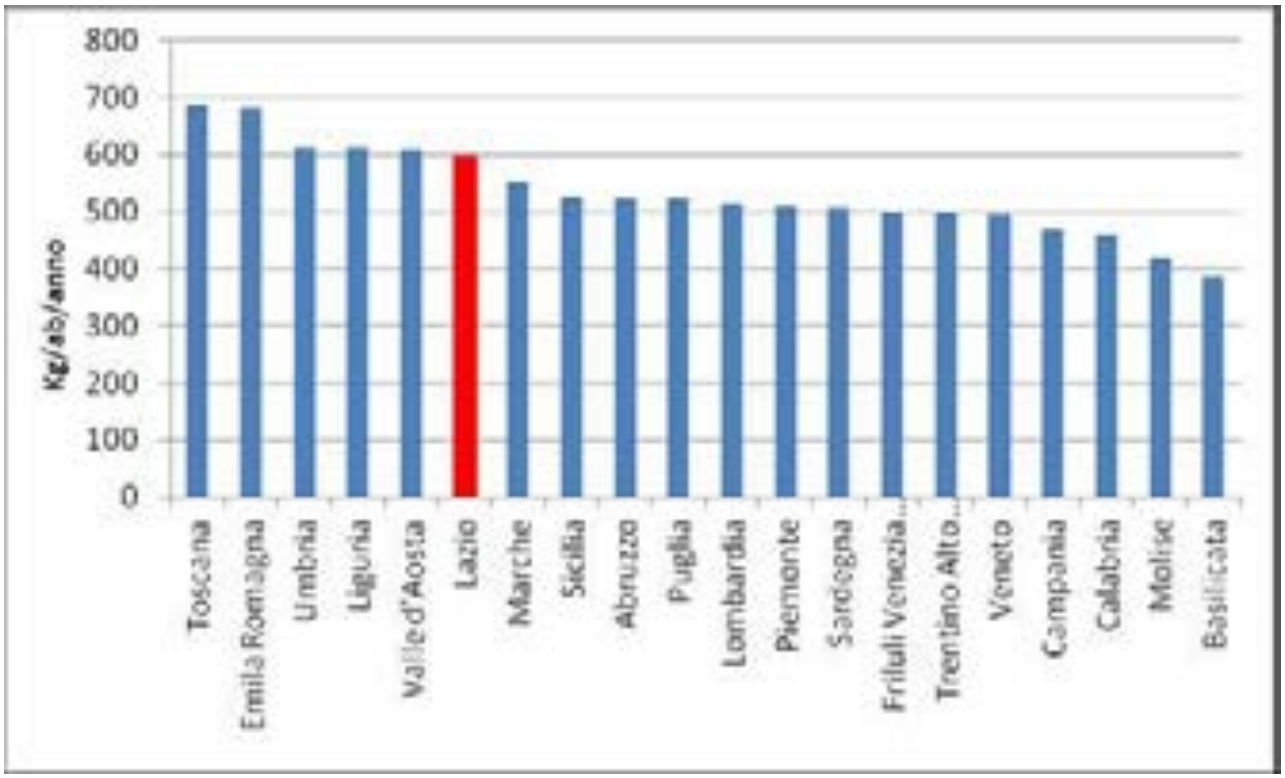
Segue una breve descrizione delle statistiche relative alla gestione dei rifiuti nel Lazio e agli impianti disponibili come desunti dal Piano Rifiuti regionale, approvato con Delibera Consiliare n. 14 del 18 gennaio 2012 e pubblicato sul supplemento ordinario n. 15 del Bollettino n. 10 del 14 marzo 2012.

2 PRODUZIONE DEI RIFIUTI

2.1 Analisi della produzione dei rifiuti

Nel 2008 in Regione sono state prodotte oltre 3,3 milioni di tonnellate di rifiuti urbani, con una produzione pro capite media regionale di 601,7 kg\abitante\anno, collocandosi tra le prime cinque regioni per produzione pro capite (Figura 2.1.1).

Figura 2.1.1. Produzione pro capite di rifiuti per regione. Anno 2008



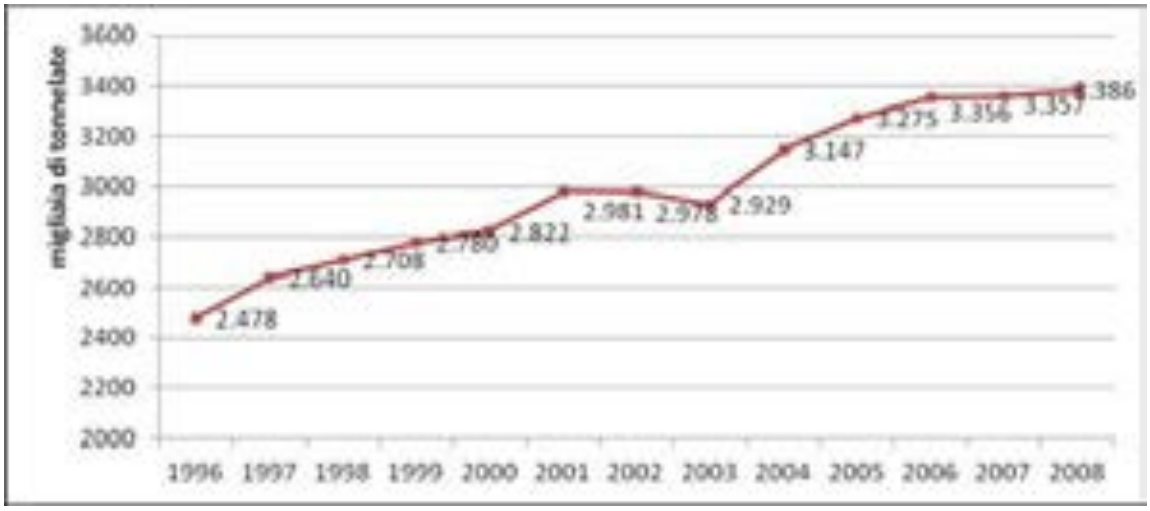
Fonte: ISPRA, Rapporto rifiuti 2009

Tabella 2.1.1 Produzione di rifiuti. Dati per provincia (Anno 2008)

Provincia	Rifiuti prodotti (t)	% di Rifiuti prodotti per provincia	produzione pro capite
Frosinone	222.987	6,59%	448,7
Latina	317.750	9,38%	495,1
Rieti	79.661	2,35%	501
Roma	2.601.875	76,85%	648,3
Viterbo	163.563	4,83%	518,4
Totale	3.385.837	100,00%	601,7

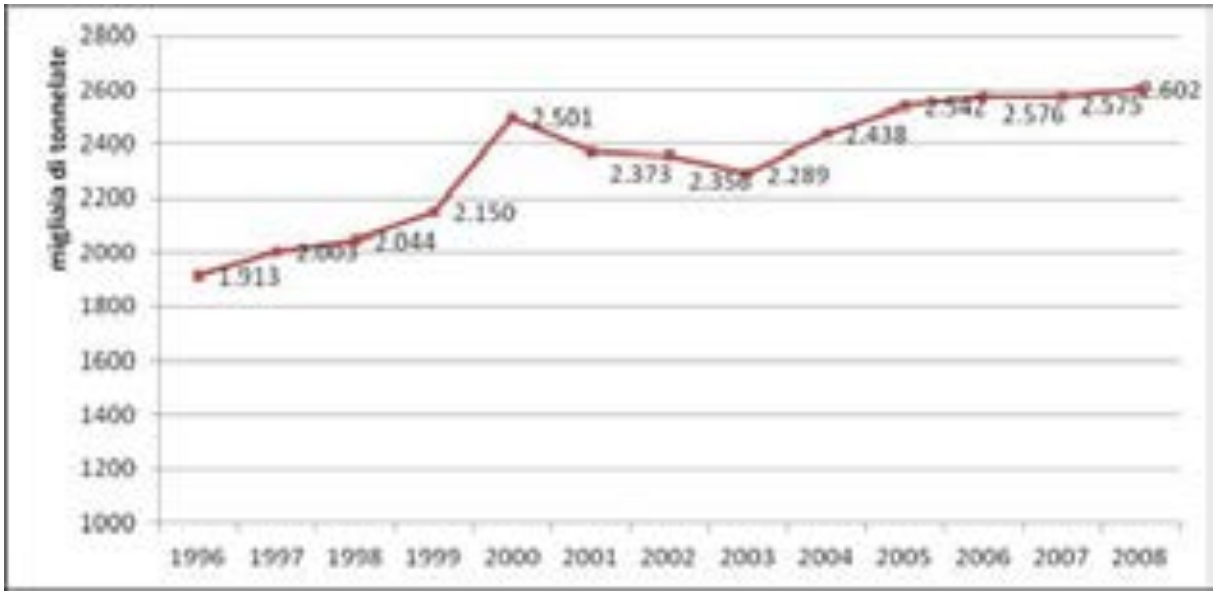
Fonte: Elaborazione Regione Lazio Det. 376 del 07/08/2010

Figura 2.1.2 Andamento della produzione totale rifiuti nel Lazio



Fonte: Elaborazione su dati ISPRA e Regione Lazio

Figura 2.1.3 Andamento della produzione totale dei rifiuti urbani nella provincia di Roma



Fonte: Elaborazione su dati ISPRA

2.2 Composizione merceologica dei rifiuti

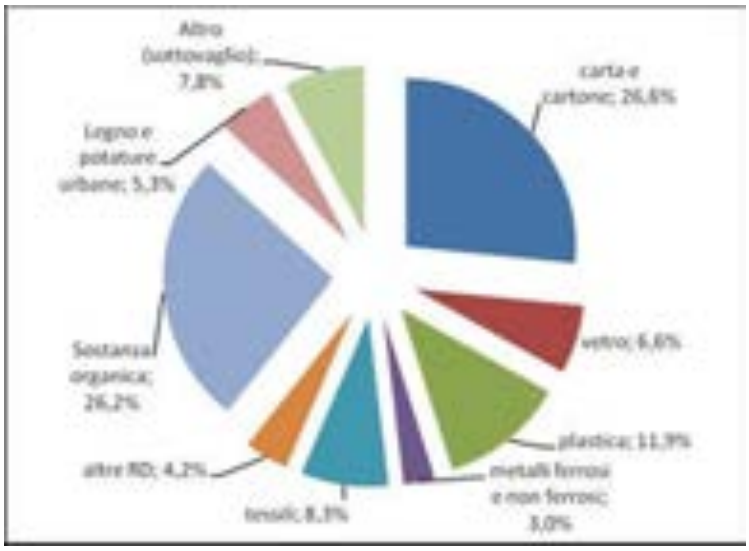
Per ricostruire una rappresentazione merceologica della produzione totale di rifiuti si utilizza il dato di composizione merceologica del rifiuto urbano indifferenziato più significativo, rappresentato da dati di analisi merceologiche effettuate per l'elaborazione dei piani provinciali di Rieti e Latina e da specifiche indagini merceologiche effettuate dai gestori per quanto concerne il Comune di Roma.
La stima della composizione del rifiuto urbano prodotto nel 2008 per le aree geografiche di cui si dispone dei dati sono riportate nella sottostante tabella.

Tabella 2.2.1 Composizione del rifiuto urbano prodotto nel 2008

Materiale	Roma %	Prov. Roma %	Latina %	Rieti %
Carta e cartone	28,7	23,7	22,5	27,0
Vetro	5,7	8,0	8,1	7,0
Plastica	11,2	12,3	15,2	12,0
Metalli ferrosi e non ferrosi	2,5	4,0	2,4	6,5
Tessili[1]	8,8	8,0	7,9	3,0
Altre RD[2]	2,2	9,5	2,5	2,0
Sostanza organica	23,1	30,8	31,4	30,0
Legno e potature urbane	6,0	3,8	4,8	8,0
Altro (Sottovaglio)	11,9	0,0	5,3	4,5
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Ama Spa Roma, Provincia di Latina, Provincia di Rieti

Figura 2.2.1 stima della composizione merceologica del rifiuto urbano per la regione Lazio



[1] La frazione "tessile" comprende tessili sanitari, tessili accessori e abbigliamento, gomma, pelle e cuoio.

[2] La frazione " Altre RD" comprende ex RUP - Ingombranti e altro non classificabile.

Applicando i dati riportati al dato di produzione totale dei rifiuti urbani del 2008 si ottiene la stima della composizione dei rifiuti urbani prodotti sul territorio regionale.

Tabella 2.2.3. Stima della composizione dei rifiuti urbani (anno 2008)

Frazione merceologica	RSU (t/a)
Carta e cartone	900.043
Vetro	223.489
Plastica	404.363
Metalli ferrosi e non ferrosi	101.203
Tessili*	282.166
Altre RD**	142.234
Sostanza organica	888.320
Legno e potature urbane	180.408
Altro (Sottovaglio)	263.611
Totale	3.385.837

2.3 Stima previsionale della produzione dei rifiuti

Elaborando dati demografici e di produzione si ottiene la stima seguente:

Tabella 2.3.1 Stima della produzione di rifiuti urbani nella Regione Lazio. Anni 2009-2017

Anno	Stima Rifiuti Prodotti (t)
2009	3.429.824*
2010	3.423.641*
2011	3.439.013
2012	3.455.869
2013	3.473.636
2014	3.522.796
2015	3.572.889
2016	3.623.918
2017	3.675.893

* Dati reali: elaborazione dichiarazioni tributo per il conferimento in discarica e ricognizioni effettuate con i gestori.

Tabella 2.3.2 Stima della produzione di rifiuti nella Regione Lazio tra il 2011 e il 2017. Dati per provincia

Anno	**Rifiuti stimati (t)**					
	Frosinone	**Latina**	**Rieti**	**Roma**	**Viterbo**	**Lazio**
2011	224.757	323.299	80.249	2.644.777	165.932	**3.439.013**
2012	225.859	324.883	80.643	2.657.740	166.745	**3.455.869**
2013	227.02	326.554	81.057	2.671.404	167.602	**3.473.636**
2014	230.233	331.175	82.204	2.709.210	169.974	**3.522.796**
2015	233.506	335.884	83.373	2.747.734	172.391	**3.572.889**
2016	236.841	340.681	84.564	2.786.978	174.853	**3.623.918**
2017	240.238	345.568	85.777	2.826.950	177.361	**3.675.893**

3 L'IMPIANTISTICA

3.1 Impianti di selezione, biostabilizzazione e produzione CDR/CSS

La situazione impiantistica della regione Lazio è riassunta nelle tabelle seguenti.

Tabella 3.1.1. Impianti di trattamento meccanico biologico esistenti. Anno 2010

Provincia	Localizzazione	Comune	ATO	Capacità autorizzata (t/a)
FR	S .P. Ortella	Colfelice	Frosinone	327.000
LT	Sacida *	Aprilia	Latina	107.670
RM	Rocca Cencia	Roma	Roma	234.000
RM	Malagrotta 1	Roma	Roma	187.000
RM	Malagrotta 2	Roma	Roma	280.000
RM	Cecchina	Albano Laziale	Roma	183.000
RM	Salaria	Roma	Roma	234.000
VT	Casale Bussi	Viterbo	Viterbo	215.000
Totale				1.767.670

Fonte: Regione Lazio

* L'impianto in località Sacida, Comune di Aprilia (LT), a partire dal 29/07/2011 è stato autorizzato, con determinazione n° B6174, ad un incremento fino a 165.270 t/a, portando la capacità complessiva regionale autorizzata esistente a 1.825.270 t/a

Tabella 3.1.2. Impianti di trattamento meccanico biologico autorizzati e in corso di autorizzazione. Anno 2010

Provincia	Localizzazione	Comune	ATO	Anno di entrata in esercizio	Capacità prevista (t/a)
LT	Borgo Montello	Latina	Latina	2014	180.000
RI	Casale Penta	Rieti	Rieti	2015	50.000
RM	Colle Fagiolara	Colleferro	Roma	2015	125.000
RM	Cupinoro	Bracciano	Roma	2014	135.000
RM	Inviolata	Guidonia Montecelio	Roma	2014	190.000

Fonte: Regione Lazio

Tabella 3.1.3. Impianti di produzione di CDR/CSS esistenti – anno 2010

Provincia	Localizzazione	Comune	ATO	Capacità autorizzata (t/a)
FR	Castellaccio	Paliano	Roma	120.000
LT	Castelforte	Castelforte	Frosinone	32.000[3]
Totale				152.000

Fonte: Regione Lazio

*L'impianto di Castelforte è autorizzato per il trattamento di 41.000 t/a di rifiuto in totale di cui 32.000 t/a per la produzione di CDR/CSS.

3.2 Impianti di compostaggio

Il sistema impiantistico dedicato al compostaggio conta, nel 2010, 19 impianti di compostaggio attivi sul territorio che trattano frazioni compostabili di varia provenienza e natura.

[3] L'impianto è autorizzato per il trattamento di 41.000 t/a di rifiuto in totale di cui 32.000 t/a per la produzione di CDR/CSS.

Tabella 3.2.1.Elenco impianti di compostaggio operativi in Regione Lazio. Anno 2010

Provincia	Localizzazione	Comune	ATO	Capacità autorizzata t/anno (anno 2010)
LT	Campoverde	Aprilia	Latina	66.000
LT	Via Frassineto	Aprilia	Latina	45.000
LT	Mazzocchio	Pontinia	Latina	45.000
LT	Borgo Vodice	Sabaudia	Latina	20.000
FR	Sode	Castrocielo	Frosinone	9.000
FR	S .P. Ortella	Colfelice	Frosinone	15.000
RM	Maccarese Pagliette	Fiumicino	Roma	30.880
RM	S.Lucia*	Fonte Nuova	Roma	800
RM	Ladispoli	Ladispoli	Roma	7.500
RM	Area agricola della Riserva Naturale di Decima Malafede	Roma	Roma	30.000
RM	Via Salaria Km19,600*	Roma	Roma	29.000
VT	S.S. 311 Nepesina	Nepi	Viterbo	5.500
VT	Piangoli*	Soriano nel Cimino	Viterbo	2.200
VT	Casalnuovo*	Tarquinia	Viterbo	1.000
VT	Loc. Tre Querce*	Montefiascone	Viterbo	800
VT	Fontanile delle Donne	Tuscania	Viterbo	60.000
VT	Strada San Lazzaro	Viterbo	Viterbo	3.000
VT	Loc. Pian di Spille*	Tarquinia	Viterbo	1.000
VT	Olivastro	Tarquinia	Viterbo	1.000
Totale				372.680

Fonte: Regione Lazio

*Impianti di compostaggio del verde

Molti di questi impianti sono nati per il trattamento delle frazioni compostabili provenienti dagli scarti delle industrie agroalimentari o dai fanghi di depurazione. La capacità reale di trattamento delle frazioni organiche derivanti da raccolta differenziata dei rifiuti urbani può pertanto risultare inferiore rispetto a quella sopra indicata. In Tabella 3.1.2 sono riportate le capacità aggiuntive autorizzate e previste e l'anno in cui è prevista l'entrata in funzione.

Tabella 3.1.2. Impianti di compostaggio autorizzati ed entrata in funzione prevista

Provincia	**Localizzazione**	**Comune**	**ATO**	**Capacità aggiuntiva compostaggio per anno (t/a)**						
				2011	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**
LT	Borgo Montello	Latina	Latina				30	30	30	30
RI	Città Ducale	Città Ducale	Rieti			20	20	20	20	20
RM	Cupinoro	Bracciano	Roma		30	30	30	30	30	30
RM	Maccarese	Fiumicino	Roma				90	90	90	90
RM	Colle Fagiolara	Colleferro	Roma					56.25	56.25	56.25
RM	Inviolata	Guidonia Montecelio	Roma				27	27	27	27
RM	Anguillara Sabazia	Anguillara Sabazia	Roma	40	40	40	40	40	40	40
Totale				**40**	**70**	**90**	**237**	**293.25**	**293.25**	**293.25**

3.3 Impianti di termovalorizzazione

Nella Regione Lazio sono presenti due impianti di termovalorizzazione del CDR/CSS ed un gassificatore. E' stata autorizzata la realizzazione di un ulteriore gassificatore nel comune di Albano Laziale.

La situazione impiantistica della Regione è riassunta nelle tabelle seguenti. Vengono fornite indicazioni sulla capacità impiantistica dei termovalorizzatori/gassificatori già realizzati e autorizzati e i tempi di realizzazione per il gassificatore autorizzato.

Tabella 3.3.1. Impianti di termovalorizzazione e gassificazione esistenti. Anno 2010

Provincia	Localizzazione	Comune	ATO	Capacità autorizzata (t/a)
FR	Valle Porchio *	San Vittore del Lazio	Frosinone	304.150
RM	Colle Sughero	Colleferro	Roma	220.000
RM	Malagrotta **	Roma	Roma	182.500
Totale				706.650

Fonte: Regione Lazio

* Valle Porchio : In fase di realizzazione seconda e terza linea che entreranno in esercizio rispettivamente nel 2011 e nel 2012: queste due linee saranno autorizzate anche per pulper da cartiera e fanghi da depurazione. Nel 2010 la capacità operativa è stata di 98.750 t/a.

** Malagrotta: Gassificatore. Si prevede l'entrata in esercizio della seconda e terza linea nel 2012. Nel 2010 la capacità operativa dell'impianto è stata di 91.000 t/a.

Tabella 3.3.2. Impianti di gassificazione autorizzati. Anno 2010

Provincia	Localizzazione	Comune	ATO	Tempi di entrata in esercizio	Capacità prevista (t/a)
RM	Cecchina	Albano Laziale	Roma	2014	160.000

3.4 Impianti di discarica

Le discariche per rifiuti non pericolosi ("ex urbani") operative nel Lazio sono in tutto dieci, distribuite su tutto il territorio regionale.

La situazione impiantistica della Regione è riassunta nelle tabelle seguenti.

Tabella 3.4.1. Discariche esistenti. Anno 2010

Provincia	Localizzazione	Comune	ATO	Volumetria residua al 30.06.2010 (mc)
FR	Cerreto	Roccasecca	Frosinone	435.000
LT	Borgo Montello	Latina	Latina	240.000[4]
LT	Borgo Montello	Latina	Latina	33.103[5]
RM	Colle fagiolara	Colleferro	Roma	1.480.000
RM	Cupinoro	Bracciano	Roma	180.000
RM	Inviolata	Guidonia Montecelio	Roma	400.000
RM	Cecchina	Albano Laziale	Roma	35.000[6]
RM	Malagrotta	Roma	Roma	1.750.000[7]
RM	Fosso Crepacuore	Civitavecchia	Roma	7.500[8]
VT	Le Fornaci	Viterbo	Viterbo	700.000

Fonte: Regione Lazio

[4] Sono in fase di allestimento i lotti 3 e 4 per ulteriori 350.000 mc.

[5] La discarica è autorizzata all'esercizio solo per 140.000 mc sul totale autorizzato di 400.000 mc. Si ritengono pertanto autorizzabili i 260.000 mc eccedenti.

[6] Ulteriori ampliamenti autorizzati per 500.000 mc.

[7] L'utilizzo di tali volumetrie residue è autorizzato fino al 30/06/2011: successivamente a tale data sono necessari ulteriori atti amministrativi.

[8] Ulteriori 288.000 mc autorizzati il 08/07/2010

D/EP/Lazio
Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale - Regione Lazio

Regione Lazio

ARPALAZIO

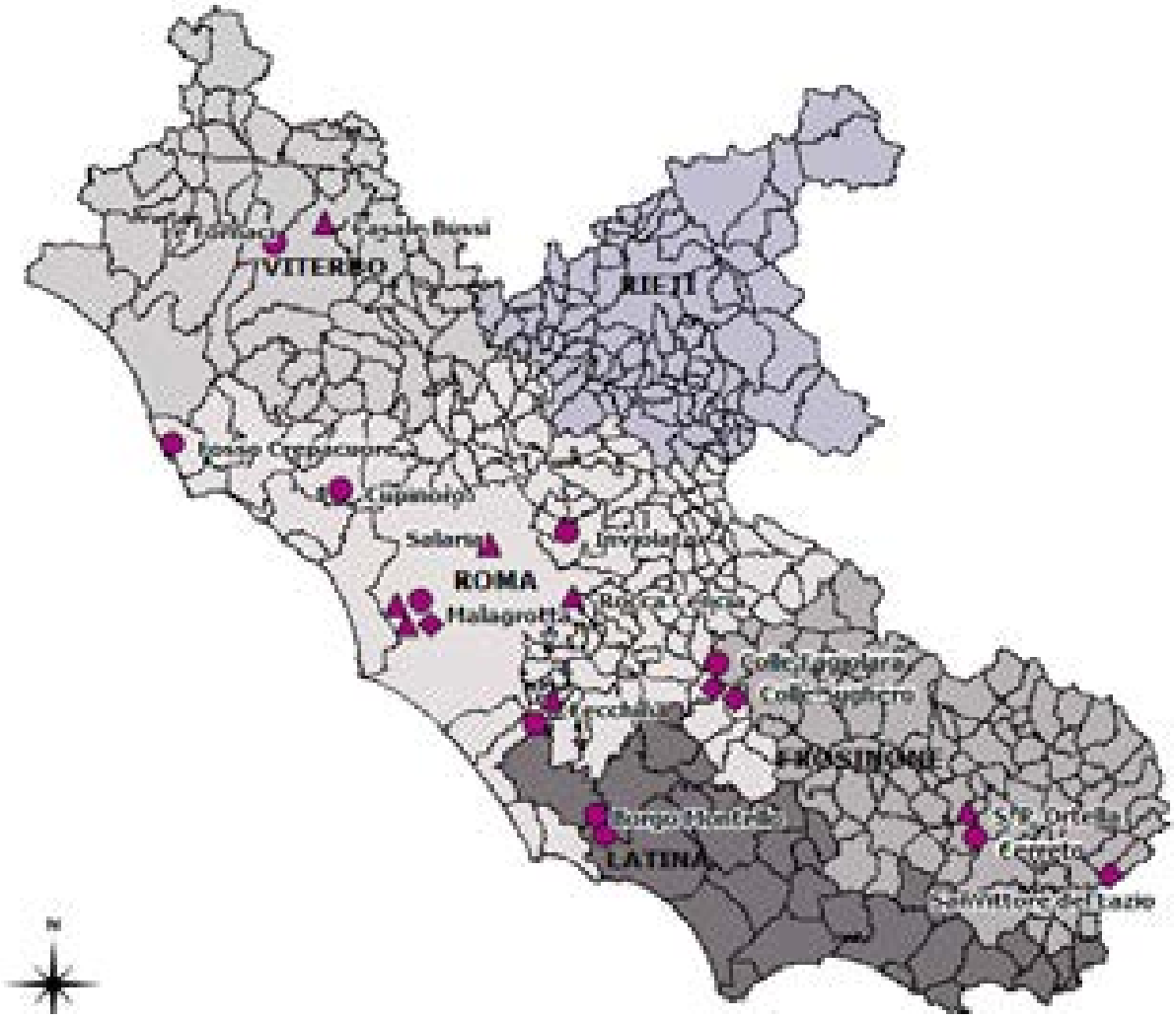
Rapporto

"Epidemiologia Rifiuti Ambiente Salute nel Lazio - ERAS Lazio"

Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione esposta a processi di raccolta, trasformazione e smaltimento dei rifiuti urbani nella regione Lazio

Volume 2

(D) RAPPORTO AMBIENTE



LEGENDA

AIA - Autorizzazione Integrata Ambientale

CDR- Combustibile Da Rifiuti

Cmax - Valore massimo di concentrazione annua

CO - Monossido di carbonio

Cy - Concentrazione media annua

H_2S – Idrogeno solforato

HCl – Acido cloridrico

IPA - Idrocarburi Policiclici Aromatici

IPPC - Integrated Pollution Prevention and Control

MTD - Migliori Tecniche Disponibili

NO_2 - Biossido di azoto

NO_X – Ossidi di azoto

O_3 - Ozono

PBL - Planetary Boundary Layer

PM_{10}, $PM_{2.5}$ – Particolato

SME - Sistema di Monitoraggio delle Emissioni

SO_2 - Biossido di zolfo

SO_X – Ossidi di zolfo

TMB - Trattamento Meccanico Biologico

VOC/SOV - Sostanze Organiche Volatili

1 Introduzione

1.1 Obiettivi

La gestione di rifiuti solidi urbani è un processo complesso che interessa diversi ambiti territoriali della regione Lazio, la popolazione e migliaia di lavoratori. Le sostanze potenzialmente tossiche che si generano durante la raccolta, il trattamento e lo smaltimento possono contaminare l'ambiente e da qui la preoccupazione, soprattutto nelle popolazioni che vivono vicino agli impianti di smaltimento rifiuti, che vi possano essere conseguenze sulla salute.

La complessità dei contesti in cui gli impianti di trattamento dei rifiuti sono localizzati rende peraltro difficile la valutazione del loro reale impatto sull'inquinamento ambientale e la salute della popolazione interessata, come dimostra l'inadeguatezza delle prove scientifiche finora a disposizione.

L'obiettivo del Programma ERAS Lazio è quello di contribuire a fare chiarezza su questi due aspetti cruciali.

Per rispondere in maniera esaustiva alla domanda di conoscenza sul tema, il programma ha previsto l'analisi di diversi aspetti del trinomio rifiuti, ambiente e salute.

Per quanto riguarda l'ambiente, lo scopo dello studio è quello di individuare informazioni utili a supportare la valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione esposta ai processi di trasformazione e smaltimento dei rifiuti urbani nella regione Lazio; gli obiettivi principali possono essere individuati nei seguenti:

- ⇒ Sintesi e sistematizzazione delle conoscenze disponibili sull'argomento;
- ⇒ Analisi della sensibilità ambientale delle aree interessate dagli impianti;
- ⇒ Stima delle emissioni relative a ciascun impianto realizzata da ARPA Lazio.

1.2 Articolazione del documento

Il Rapporto Ambiente è articolato in nove capitoli ed in un appendice, la suddivisione degli argomenti in capitoli è la seguente:

1. Introduzione: descrive gli obiettivi del progetto, la struttura del documento, gli impianti di gestione dei rifiuti urbani oggetto dello studio.
2. Metodologia: illustra la metodologia seguita nell'ambito dello studio;

3. Inquadramento territoriale: fornisce informazioni utili a definire il contesto territoriale in cui è inserito ogni impianto (popolazione, uso del suolo, infrastrutture di trasporto, acque superficiali, aree naturali protette);
4. Stato dell'ambiente: descrive lo stato dell'ambiente delle aree interessate dagli impianti (qualità delle acque, qualità dell'aria) ed i fattori di pressione presenti (emissioni inquinanti atmosferici, acque reflue urbane e industriali, produzione di rifiuti).
5. Controlli e monitoraggi ambientali: illustra le attività di controllo e monitoraggio svolte dall'ARPA Lazio negli impianti di gestione dei rifiuti urbani.
6. Emissioni in aria prodotte dagli impianti: illustra le emissioni in aria prodotte dagli impianti e stima il contributo rispetto al quadro generale.
7. Indagini sperimentali (misure in campo/laboratorio): descrive le campagne di monitoraggio pianificate e realizzate nell'ambito del programma ERAS.
8. Valutazione della qualità dell'aria: descrive per le zone influenzate dagli impianti di gestione dei rifiuti urbani lo stato della qualità dell'aria.
9. Conclusioni: presenta i risultati raggiunti dallo studio.

Nell'appendice sono presenti le schede relative ad ogni singolo impianto contenenti le informazioni anagrafiche, le caratteristiche tecniche degli impianti, il piano di monitoraggio e controllo previsto dall'autorizzazione, l'inquadramento territoriale, lo stato dell'ambiente, la valutazione della qualità dell'aria, la definizione della zona influenzata dall'impianto ed i report delle indagini sperimentali condotte nell'ambito dello studio.

1.3 Impianti di gestione rifiuti urbani oggetto dello studio

Gli impianti di gestione rifiuti urbani oggetto del Programma ERAS Lazio appartengono alle seguenti categorie: discariche, termovalorizzatori e trattamento meccanico biologico.

Discarica: costituisce l'anello finale della catena dei rifiuti, è il sito deputato a contenere tutto ciò che è definitivamente rifiuto in quanto non più utilizzabile né riciclabile. A seconda della tipologia di rifiuto che andranno a contenere, le discariche si dividono in tre categorie:

- ⇒ discariche per rifiuti pericolosi;

- ⇒ discariche per rifiuti non pericolosi;
- ⇒ discariche per rifiuti inerti.

Tutte le discariche devono rispettare dei requisiti minimi, richiesti per legge, come garanzia di tutela nei confronti dell'area che ospita il sito.

Questi requisiti sono:

- ⇒ ubicazione: devono essere poste a distanza di sicurezza dai centri abitati ma soprattutto dai punti di approvvigionamento di acque destinate ad uso potabile, dall'alveo di piena di fiumi, laghi e torrenti;
- ⇒ caratteristiche geologiche: devono essere ubicate su suoli stabili per evitare rischi di frane, cedimenti delle pareti e del fondo della discarica stessa.

Nelle discariche il principale fattore di rischio di inquinamento e d'impatto sull'ambiente è determinato dalla possibilità che il percolato, la cui formazione è dovuta al contatto dell'acqua piovana con i rifiuti, inquini la falda idrica sotterranea. E' necessario, pertanto, un sistema di raccolta delle acque piovane e del percolato prodotto dalla discarica (la quale tra le altre caratteristiche ha pareti e fondo impermeabilizzati tramite la deposizione di uno strato di argilla e di un manto di materiale plastico). Il percolato viene aspirato dal fondo della discarica per mezzo di pompe e inviato, attraverso delle condutture, all'impianto di depurazione.

Questa azione deve essere mantenuta in esercizio anche dopo la chiusura della discarica stessa. Dalla decomposizione dei rifiuti, in assenza di ossigeno, si origina un gas, il biogas, composto principalmente da metano e anidride carbonica. Il gas deve essere captato, tramite dei pozzi, ed inviato ad una centrale dove è utilizzato come carburante per produrre energia elettrica. Quello che sfugge in profondità viene bruciato da apposite torce poste sulla superficie delle discariche; una parte, comunque, si libera nell'ambiente ed è responsabile dello sgradevole odore che si avverte in prossimità delle discariche.

Nelle moderne discariche i rifiuti non vengono semplicemente scaricati, ma trattati con la tecnica della "coltivazione"; sono cioè compattati da appositi macchinari e ricoperti di terreno, quindi si procede con un altro strato sovrapposto. In questo modo la discarica può contenere una maggiore quantità di rifiuti.

Quando la discarica è esaurita occorre realizzare una copertura finale con terreno argilloso e vegetale di almeno 30 cm di spessore, sufficiente a consentire l'attecchimento e lo sviluppo della vegetazione: si attua, cioè, la "rinaturalizzazione" della discarica.

Termovalorizzatori: Un tempo si parlava di inceneritore solo per indicare il luogo in cui i rifiuti perdevano oltre il 90% del volume e circa il 70% del peso mediante un processo di combustione. Oggi si parla invece di termovalorizzazione intendendo il recupero e l'utilizzo dell'energia prodotta dalla combustione dei rifiuti. A fronte degli indubbi vantaggi, il termovalorizzatore presenta anche degli svantaggi. Infatti l'impatto ambientale degli impianti di termovalorizzazione è legato alle immissioni in atmosfera dei gas di scarico (principalmente anidride carbonica, vapore acqueo e in minor misura diossine, furani e ceneri contenenti metalli pesanti) e alla gestione degli scarti di combustione. Anche l'incenerimento, seppure in quantità abbastanza basse, produce, infatti, delle scorie che si stimano pari al 20-30% circa del peso iniziale dei rifiuti. Tali rimanenze, che hanno forma di ceneri, devono essere smaltite in apposite discariche in quanto contengono sostanze potenzialmente pericolose come i metalli pesanti piombo e cadmio. I moderni sistemi di depurazione mirano a minimizzare l'impatto sull'ambiente dei gas di scarico, attraverso accorgimenti tecnologici quali, ad esempio, l'utilizzo di filtri.
Nella tipologia impiantistica dei termovalorizzatori è possibile includere anche i **Gassificatori**: quest'ultimi sono impianti per il trattamento "termico" dei rifiuti che trasformano la materia organica in essi contenuta attraverso il suo riscaldamento in un ambiente con una piccolissima quantità di ossigeno. In questo particolare processo i rifiuti vengono "scomposti" in parti più piccole fino ad arrivare alla produzione di una parte gassosa (denominata syngas) e una solida o liquida. Si tratta di impianti ancora poco diffusi e il cui utilizzo è in genere limitato a specifiche tipologie di rifiuti (per esempio plastiche, pneumatici, scarti di cartiera, scarti legnosi o agricoli), ma che offrono un rendimento energetico superiore a quello degli inceneritori.

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 termovalorizzatori;

⇒ stabilizzare i rifiuti in modo tale che venga minimizzata la formazione dei gas di decomposizione e il percolato.

Gli impianti oggetto dello studio sono 19 (9 discariche, 3 termovalorizzatori e 7 impianti di trattamento meccanico biologico). E' necessario evidenziare che le due linee di termovalorizzazione presenti nel medesimo sito a Colleferro (RM) e gestite da soggetti diversi sono state considerate come un unico impianto, così come le due aree adiacenti di discarica dei rifiuti urbani presenti a Borgo Montello (LT). Inoltre si noti che dei suddetti impianti 13 si trovano nella provincia di Roma, 2 nella provincia di Viterbo, 1 nella provincia di Latina e 2 nella provincia di Frosinone.

DISCARICHE		
Codice	**Località**	**Comune**
D1	Malagrotta	Roma
D2	Inviolata	Guidonia
D3	Cecchina	Albano Laziale
D4	Colle Fagiolara	Colleferro
D5	Le Fornaci	Viterbo
D6	Borgo Montello	Latina
D7	Cerreto	Roccasecca
D8	Cupinoro	Bracciano
D9	Fosso Crepacuore	Civitavecchia
TERMOVALORIZZATORE		
Codice	**Località**	**Comune**
T1	Valle Porchio	San Vittore del Lazio
T2	Colle Sughero	Colleferro
T3	Malagrotta (Gassificatore)	Roma
TRATTAMENTO MECCANICO BIOLOGICO		
Codice	**Località**	**Comune**
TMB1	S. P. Ortella	Colfelice
TMB2	Cecchina	Albano Laziale
TMB3	Casale Bussi	Viterbo
TMB4	Malagrotta 1	Roma
TMB5	Rocca Cencia	Roma
TMB6	Malagrotta 2	Roma
TMB7	Roma Salaria	Roma

Tabella 1.1. Impianti progetto Eras

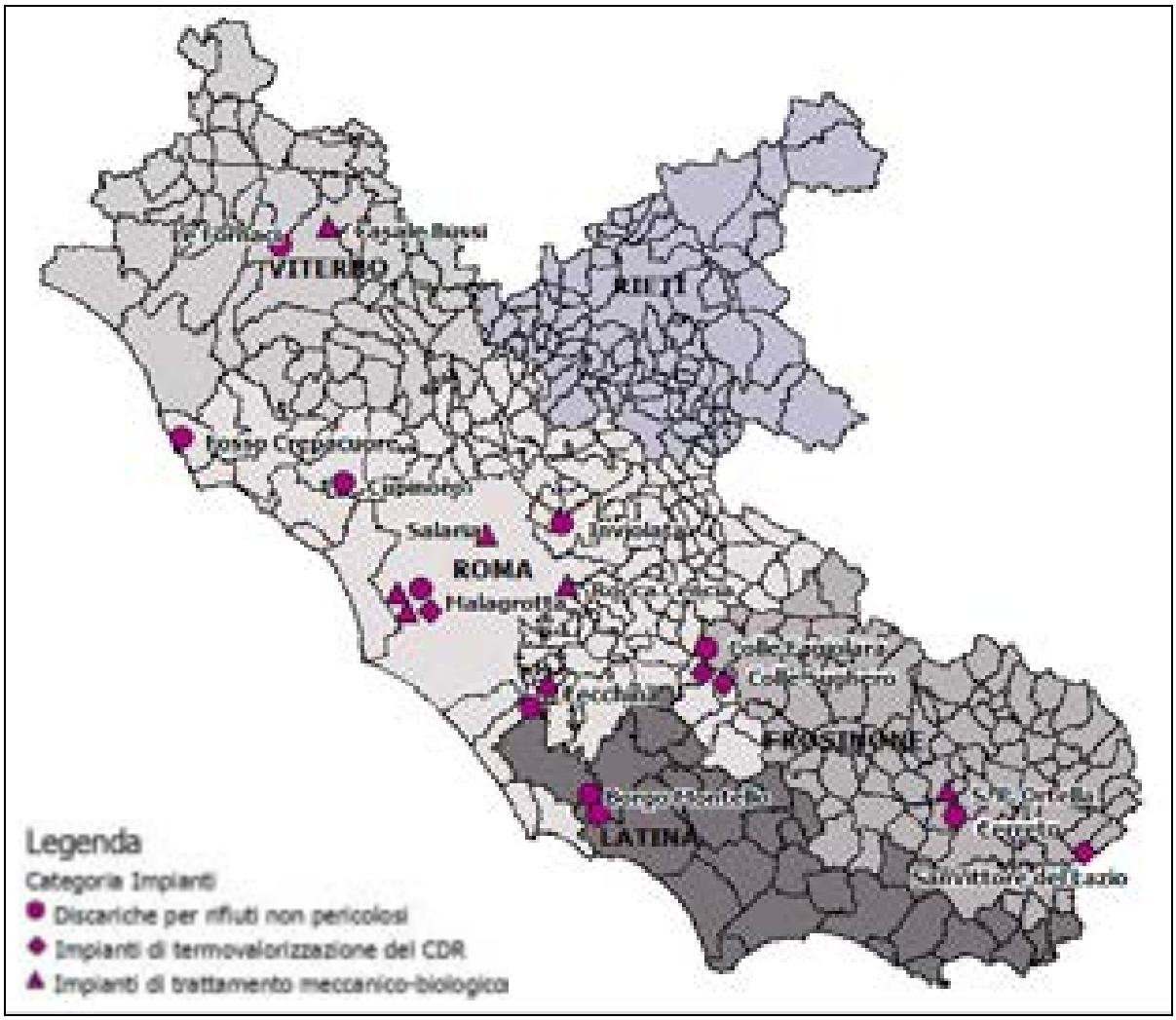


Figura 1.1.Ubicazione impianti Eras

Lo studio ha considerato gli impianti che trattano esclusivamente rifiuti urbani.

2 Metodologia

La metodologia utilizzata è composta da cinque fasi principali:

A – Raccolta documentazione;

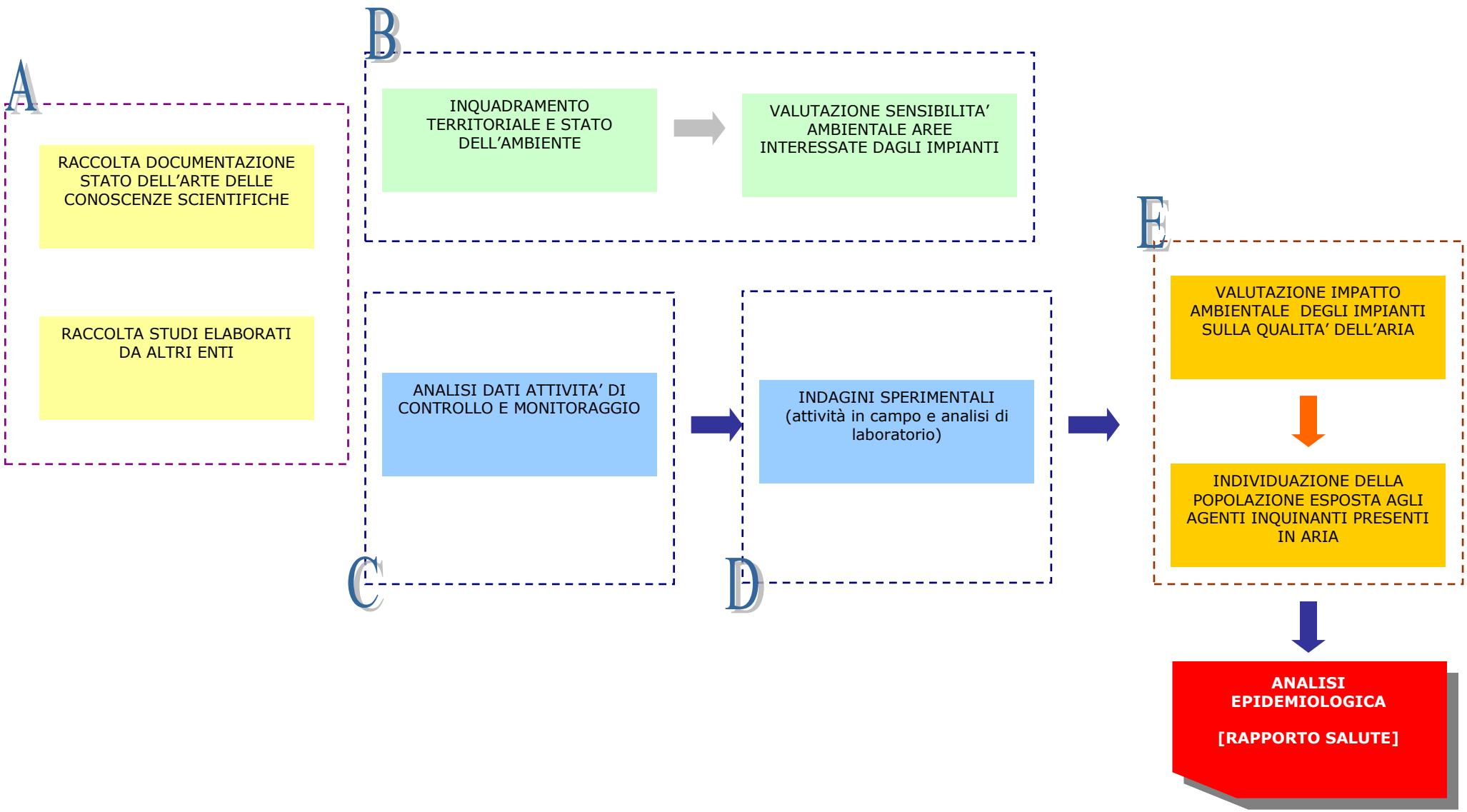
B – Valutazione ambientale delle aree interessate dagli impianti;

C – Analisi dei dati di controllo e monitoraggio ambientale degli impianti;

D – Indagini sperimentali (misure in campo/laboratorio);

E – Individuazione della popolazione esposta agli agenti inquinanti presenti in aria.

Figura 2.1 Schema metodologia rapporto ambiente



2.1 Raccolta documentazione

Al fine di acquisire elementi utili allo sviluppo e organizzazione del programma si è proceduto alla raccolta della documentazione scientifica inerente alla valutazione dell'impatto ambientale delle tipologie d'impianti (discariche, termovalorizzatori, trattamento meccanico biologico) oggetto dello studio.
La ricerca bibliografica è stata realizzata a partire dal patrimonio dei documenti posseduti dalla Biblioteca ambientale "Paolo Colli" di ARPA Lazio: sono state consultate le riviste di settore, sia cartacee che elettroniche, e le banche di dati in abbonamento all'Agenzia. L'indagine si è estesa anche ai periodici online il cui testo completo può essere letto, distribuito e linkato gratuitamente secondo la filosofia dell'*open access*.
Oltre che nel campo della letteratura periodica la ricerca bibliografica si è svolta anche nell'ambito della reportistica tecnico-scientifica e degli atti di congressi; si è proceduto inoltre ad acquisire, laddove esistenti, i principali e più recenti studi effettuati da altri Enti pubblici riguardanti gli impianti.

2.2 *Valutazione ambientale delle aree interessate dagli impianti*

Si è ritenuto opportuno, prima di effettuare l'analisi degli impatti ambientali degli impianti, realizzare una descrizione delle principali caratteristiche territoriali ed ambientali dell'area su cui insistono le discariche, i termovalorizzatori ed i TMB.
L'ambito territoriale considerato è costituito dai comuni presenti nel raggio di 3km dall'impianto.
Per ogni impianto è stato effettuato:

- ⇒ un inquadramento generale che ha considerato i seguenti aspetti: la popolazione, l'utilizzo del suolo, le infrastrutture di strasporto, i corsi idrici superficiali, le aree naturali protette;
- ⇒ un'analisi dello stato dell'ambiente che si basata principalmente sulle conoscenze derivanti dalle attività di monitoraggio svolte dall'ARPA Lazio. Gli aspetti considerati sono stati: la qualità delle acque superficiali e sotterranee e la qualità dell'aria. Sono stati, inoltre, individuati i principali fattori di pressione e nello specifico: le attività economiche che insistono sul territorio, le emissioni di inquinanti atmosferici, il carico inquinante delle acque reflue urbane ed industriali e la produzione di rifiuti.

2.3 Analisi dei dati di controllo e monitoraggio ambientale degli impianti

Gli impianti di gestione e trattamento rifiuti oggetto dello studio sono soggetti alla disciplina di prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento (IPPC Integrated Pollution Prevention and Control).

La strategia IPPC, comune a tutta l'Unione Europea nasce con la Direttiva 24 settembre 1996 del Consiglio Europeo e fu successivamente rivisitata ed aggiornata nel corso del tempo fino alla Direttiva 24 novembre 2010, attualmente vigente. La finalità della strategia IPPC e quella di aumentare le "prestazioni ambientali" dei complessi industriali soggetti ad autorizzazione.

La prima formulazione di tale disciplina introdusse concetti all'epoca innovativi ai fini della protezione ambientale: essa infatti si fondava sul concetto di approccio integrato alla riduzione dell'inquinamento, approccio ritenuto necessario per raggiungere un elevato livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso.

Sulla base dell'esperienza passata si prendeva atto che attività distinte nel controllo delle emissioni nell'aria, nell'acqua o nel terreno anziché proteggere l'ambiente potevano incoraggiare il trasferimento dell'inquinamento tra i vari settori ambientali.

Al fine di prevedere un efficace coordinamento delle attività di controllo, è stata prevista per gli impianti soggetti alla disciplina IPPC un Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) che comprende tutti gli aspetti ambientali (emissioni in atmosfera, scarichi idrici, gestione dei rifiuti, …).

I valori limite di emissione stabiliti dall'AIA devono basarsi sulle migliori tecniche disponibili (MTD).

Le MTD costituiscono il secondo pilastro nell'architettura della Direttiva: la protezione dell'ambiente è, infatti, garantita attraverso l'utilizzo delle MTD, che determinano il più efficiente esercizio di un impianto e di conseguenza la generale riduzione, ove non sia possibile l'eliminazione, delle emissioni nell'ambiente.

Particolare attenzione viene posta alla trasparenza stabilendo che, per consentire al pubblico di essere informato sul funzionamento degli impianti e sui possibili effetti per l'ambiente, e garantire la trasparenza delle procedure di autorizzazione, il pubblico deve avere liberamente accesso, prima di qualsiasi decisione, alle informazioni relative alle domande di autorizzazione di nuovi impianti ed ai relativi dati di controllo.

Elemento cardine nella gestione di un impianto è il piano di controllo, definibile come l'insieme di azioni svolte dal gestore e dall'Autorità di controllo che consentono di effettuare, nelle diverse fasi della vita di un impianto, un efficace monitoraggio degli aspetti ambientali dell'attività costituiti dalle emissioni nell'ambiente e dagli impatti sui

corpi recettori, assicurando la base conoscitiva che consente in primo luogo la verifica della sua conformità ai requisiti previsti nella autorizzazione.
Secondo tale approccio innovativo il gestore svolge un ruolo essenziale ai fini del controllo dell'impianto, affiancandosi all'Autorità di controllo.
A tal fine il piano di controllo dell'impianto comprende due parti principali:

- ⇒ controlli a carico del gestore (attraverso il Sistema di Monitoraggio delle Emissioni, SME);
- ⇒ controlli a carico dell'Autorità pubblica di controllo.

Il piano di controllo riguarda le azioni che devono essere effettuate sull'impianto per costruirlo o adeguarlo alle prescrizioni contenute nell'AIA e che riguardano in generale le componenti tecniche e gestionali ivi compreso il controllo delle emissioni. Dal punto di vista dell'Autorità competente questo si tradurrà in un certo numero e tipologia di ispezioni dipendenti dall'entità e dalla durata della costruzione o degli interventi di adeguamento previsti nel progetto presentato dal gestore dell'impianto.
La disciplina comunitaria trovava la prima attuazione in Italia attraverso il Decreto legislativo 18 febbraio 2005 n. 59, norma successivamente confluita, con le modifiche apportate dal Decreto legislativo 3 dicembre 2010 n. 205, all'interno del codice ambientale costituito dal Decreto legislativo 3 aprile 2006 n. 152.
Venivano in tal modo definite le competenze, in materia, delle Agenzie regionali per la protezione dell'ambiente e in particolare erano attribuite:

- ⇒ una funzione istruttoria, con l'espressione del parere, ai fini del rilascio dell'autorizzazione integrata ambientale, per quanto riguarda il monitoraggio ed il controllo degli impianti e delle emissioni nell'ambiente;
- ⇒ una funzione di controllo dell'impianto mediante l'onere di accertare:

  a) il rispetto delle condizioni dell'AIA;

  b) la regolarità dei controlli a carico del gestore, con particolare riferimento alla regolarità delle misure e dei dispositivi di prevenzione dell'inquinamento nonché al rispetto dei valori limite di emissione;

  c) l'ottemperanza del gestore ai propri obblighi di comunicazione e in particolare alla regolare informazione dell'autorità competente e, in caso di inconvenienti o incidenti che influiscano in modo significativo sull'ambiente, alla tempestiva comunicazione dei risultati della sorveglianza delle emissioni del proprio impianto.

Pertanto ARPA Lazio svolge attività tecniche istruttorie e di controllo degli impianti a supporto dell'Autorità amministrativa competente, costituita dalla Provincia,

ad eccezione degli impianti di gestione rifiuti per i quali la competenza è della Regione Lazio. Allo stato attuale, gli impianti autorizzati con autorizzazione integrata ambientale, nella Regione Lazio, sono in totale 116 dei quali 40 riguardano la gestione dei rifiuti.

L'analisi delle attività di controllo e monitoraggio ha costituito un elemento fondamentale per acquisire informazioni utili a costituire il set di input dei dati necessari alla valutazione della qualità dell'aria e ad individuare le ulteriori necessità informative utili allo studio. Gli approfondimenti necessari per quanto riguarda la definizione del quadro ambientale sono state ottenute attraverso lo svolgimento di specifiche indagini sperimentali.

2.4 Indagini sperimentali

Le indagini sperimentali sono state pianificate sulla base dell'analisi delle informazioni esistenti e acquisite nell'ambito delle attività di controllo e monitoraggio svolte dall'ARPA Lazio.

Le campagne sono state svolte con mezzi mobili e centraline rilocabili e sono state finalizzate ad una caratterizzazione della qualità dell'aria delle zone influenzate dalla presenza degli impianti. Durante le campagne sperimentali, sono stati monitorati i seguenti inquinanti: biossido di zolfo (SO_2), biossido di azoto (NO_2), monossido di carbonio (CO), particolato (PM_{10}, $PM_{2.5}$), ozono (O_3), sostanze organiche volatili, diossine, aldeidi, metalli e idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

Contestualmente sono state realizzate campagne sperimentali dedicate alla caratterizzazione delle aree di indagine mediante l'utilizzo combinato di indicatori derivati dall'analisi dei licheni.

Monitoraggi		
Tipo di stazione/parametri rilevati	**Laboratorio mobile**	**Rete regionale**
Macroinquinanti	x	x
Aldeidi	x	
VOC	x	
Metalli	x	x
Metalli (associati a particolato fine da 10, 2.5 e 1 micron)	x	
IPA	x	x
Diossine	x	x
PCB	x	x

Monitoraggi		
Tipo di stazione/parametri rilevati	**Laboratorio mobile**	**Rete regionale**
H_2S	x	

Tabella 2.1. Inquinanti sottoposti a monitoraggio

La scelta dei parametri inquinanti da sottoporre a monitoraggio è stata sostanzialmente derivata dalle indicazioni presenti nella normativa, dalla necessità di caratterizzare sostanze potenzialmente derivate dai cicli industriali di interesse e dalla selezione di traccianti indicativi dei percorsi e delle modalità di trasporto e diffusione delle sostanze inquinanti in atmosfera.

La strategia di monitoraggio adottata ad integrazione dei rilievi condotti dalla rete regionale della qualità dell'aria è stata quella di programmare campagne di misura dedicate con il rilevamento di parametri inquinanti specifici mediante criteri di sovrapposizione statistica tra la dimensione spaziale e quella temporale di evoluzione dei fenomeni di inquinamento.

In pratica si è adottata la tecnica di selezionare situazioni territoriali "tipo" sulle quali condurre campagne di rilevamento contemporaneo di "macroinquinanti" (PM_{10}, NO_2) da confrontare con i trend acquisiti dalla rete fissa e parametri inquinanti specifici (IPA, metalli,..) per la valutazione di possibili impatti diretti e indiretti dei sistemi impiantistici oggetto dello studio.

Tale approccio risulta inoltre consistente alla necessità, associata alle valutazioni epidemiologiche, di fornire elementi a supporto circa lo stato di qualità ambientale in una finestra temporale (1996-2008) rilevante nella valutazione degli indici di esposizione della popolazione

Il complesso delle attività sperimentali ha un duplice obbiettivo da un lato contribuire a caratterizzare le aree circostanti gli impianti e quindi supportare la valutazione dei meccanismi di causa-effetto significativamente correlati alle analisi epidemiologiche e dall'altro integrarsi con le valutazioni di tipo modellistico per poter costruire mappe di livelli di contrazione in aria di inquinanti affidabili e funzionali all'individuazione della popolazione esposta.

2.5 Individuazione della popolazione esposta agli agenti inquinanti in atmosfera

L'obiettivo principale dell'indagine è l'acquisizione, la sistematizzazione e la divulgazione delle informazioni relative agli impianti di smaltimento e di

trasformazione dei rifiuti urbani presenti nel Lazio e lo studio della loro possibile influenza sulla salute della popolazione residente nelle immediate vicinanze. Per poter conseguire questo obiettivo, lo studio è stato condotto in modo tale da definire l'esposizione della popolazione della zone interessate agli agenti inquinanti presenti in aria, valutando il più accuratamente possibile l'apporto (e quindi il peso) delle varie sorgenti di emissione degli inquinanti legate al ciclo dei rifiuti urbani. Il punto di partenza è costituito dalla definizione dei livelli di qualità dell'aria a livello regionale, a cui è seguito uno studio di dettaglio per la definizione dei contributi dei singoli impianti di gestione dei rifiuti urbani.

2.5.1 La ricostruzione dei livelli di inquinamento sulla regione Lazio

Il punto di riferimento per la valutare se la qualità dell'aria di un territorio sia o meno congruente con i limiti di legge è la conoscenza della distribuzione spaziale della concentrazione dei vari inquinanti a livello orario o giornaliero. Da tale conoscenza si giunge facilmente alla determinazione della distribuzione spaziale di concentrazione media annua che è uno dei parametri più importanti con cui valutare la qualità dell'aria di una zona.

E' una realtà il fatto che la regione Lazio dispone di una rete regionale di monitoraggio in cui vengono misurate le concentrazione di una serie di inquinanti previsti attualmente dalla normativa vigente (SO_2, NO_2, NO_x, CO, PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, Benzene, IPA e metalli), ma queste misure realizzate in un numero ridotto di punti sul territorio non consentono di stimare con un'adeguata confidenza la distribuzione spaziale di tali inquinanti. Tra l'altro, il lavoro di interconfronto realizzato negli ultimi anni per valutare quale sia l'incertezza intrinseca alle misure della concentrazione dei vari inquinanti ha evidenziato come tale incertezza sia per nulla trascurabile, anzi sia piuttosto elevata. Se, basandosi tu tali misure affette da un elevato grado di incertezza, si adottassero i normali metodi di interpolazione spaziale, la distribuzione spaziale ottenuta non avrebbe alcuna garanzia di essere "parente" della realtà che si vuole stimare.

D'altro canto, ormai l'impiego di modelli matematici che descrivono la variazione nello spazio e nel tempo dei vari campi meteorologici e micrometeorologici ed il trasporto, la dispersione, la deposizione e la trasformazione chimica delle varie specie inquinanti è una realtà consolidata, nonostante sia ancora presente una diffusa sfiducia nel fatto che lo strumento modellistico sia effettivamente efficace. Questa sfiducia è piuttosto curiosa e si basa sulla credenza che tutto ciò che si misura sia vero per definizione e

tutto ciò che si calcola (basandosi sulle leggi della fisica e della chimica) sia per definizione almeno dubbio. La situazione è curiosa, visto che, per esempio, i modelli meteorologici sono ormai alla base della vita quotidiana e sono lo strumento operativo impiegato dalla Protezione Civile per prevedere e gestire le emergenze naturali. L'esempio dei modelli meteorologici è importante perché essi costituiscono il primo degli strumenti impiegati per la ricostruzione spaziale e temporale dei livelli di concentrazione degli inquinanti in aria.

Seguendo quanto prescritto dalla Direttiva 2008/50/CE (e quindi dal D.Lgs. n. 155/2010 che la recepisce), la stima delle distribuzioni spaziali della concentrazione dei vari inquinanti deve essere ottenuta impiegando assieme modelli e misure.

Nello specifico per la regione Lazio, opera in modalità continua una catena modellistica costituita dagli elementi seguenti:

1. il modello meteorologico RAMS che si incarica di ricostruire a livello orario i campi tridimensionali delle diverse variabili meteorologiche e micrometeorologiche. RAMS è un modello ben noto ed operativo in molti centri di previsione meteorologica e la sua capacità di riprodurre le situazioni reali è ben documentata nella letteratura specializzata da più di venti anni. Oltre a ciò, visto che lo si utilizza in maniera ricostruttiva e non predittiva, RAMS assimila costantemente le misure realizzate dalla rete micrometeorologica regionale e dalle stazioni meteorologiche dell'Aeronautica.
2. Il modello fotochimico FARM. FARM è uno dei pochi modelli di trasporto e dispersione degli inquinanti attualmente operativi nelle strutture dedicate al controllo della qualità dell'aria. E' la base modellistica impiegata dal Ministero dell'Ambiente per descrivere l'inquinamento del territorio italiano e per valutare eventuali scenari di risanamento. Le sue capacità predittive e ricostruttive sono ben note e numerosissimi sono gli studi realizzati al fine di confrontare in situazioni tra loro anche molto differenti i livelli di concentrazione dei differenti inquinanti con le rispettive misure. I risultati ottenuti confermano come l'incertezza nelle stime modellistiche sia almeno dello stesso ordine di grandezza dell'incertezza delle misure. Tra l'altro, usandolo in maniera ricostruttiva, si può sfruttare le sue capacità di assimilare le misure ottenute dalla rete fissa di monitoraggio, riducendo ulteriormente l'incertezza intrinseca.

Sulla base di ciò, si è stimata per ogni ora dell'anno la distribuzione spaziale dei vari inquinanti di interesse su tutto il territorio regionale e ogni ora nel campo stimato per

una data specie chimica sono state assimilate le misure relative, ottenendo quindi la miglior fotografia possibile della situazione di inquinamento della zona. Disponendo, poi, dei campi orari, è stato immediato giungere alla distribuzione spaziale media annua per ciascun inquinante, distribuzione che, ai sensi del D.Lgs. n. 155/2010, è la valutazione della qualità dell'aria cui si applicano i limiti specifici per ciascuna sostanza inquinante.

2.5.2 L'impronta (footprint) degli impianti di trattamento rifiuti

Il punto di partenza logico da cui si è sviluppato lo studio è l'ipotesi che ogni impianto di smaltimento o di trasformazione dei rifiuti in attività determini una propria impronta (footprint) sulla qualità dell'aria caratteristica del territorio in cui tale impianto è presente. In sostanza, tale impronta altro non sarebbe che quella porzione di territorio, circostante l'impianto, in cui le emissioni da esso prodotte durante la normale attività determinano una distribuzione di concentrazione con caratteristiche ben definite.

Per concretizzare il concetto, se si considera un generico impianto in attività (un termovalorizzatore o una discarica), è evidente che da tale impianto viene emesso un numero rilevante di sostanze inquinanti delle quali molte sono note e ben quantificabili. Queste non sono ovviamente le uniche emissioni di questi impianti: è infatti ragionevole supporre che vengano emesse anche altre sostanze non facilmente misurabili e quantificabili di cui, però, non è possibile a priori escludere una qualche influenza sulla salute umana. Una volte emesse, queste sostanze vengono trasportate dal campo di moto dei bassi strati dell'atmosfera (Planetary Boundary Layer, PBL) e disperse dalla turbolenza che li caratterizza, e stabiliscono in prossimità del suolo una distribuzione spaziale di concentrazione che varia nel tempo a secondo delle condizioni meteorologiche (campo di moto) e micrometeorologiche (turbolenza) che esse incontrano ora dopo ora.

L'indagine epidemiologica è finalizzata ad individuare delle possibili relazioni causa-effetto tra la presenza di un impianto in funzione e le patologie presentate dalla popolazione che risiede nelle immediate circostanze. Per rendere più oggettiva l'indagine è necessario definire meglio alcuni punti essenziali:

- l'obiettivo (e quindi il limite) di questa indagine è determinare se la concentrazione al livello del suolo che si viene a determinare attorno ad un impianto in attività abbia o meno un'influenza epidemiologica sulla popolazione che vi risiede attorno, senza considerare altre possibili influenze sulla salute umana;
- dato che è presumibile che le aree relativamente vicine all'impianto che si considera siano le più influenzate dalle emissioni inquinanti, potremo trascurare senza commettere un eccessivo errore alcuni fenomeni che hanno luogo nella dispersione degli inquinanti in aria a distanze medio-lunghe dal punto di emissione, come la deposizione secca, la deposizione umida e le trasformazioni chimiche. Questa considerazione è di fondamentale importanza perché, trascurando questi fenomeni (ritenuti ragionevolmente irrilevanti), di fatto si ipotizza che tutte le emissioni siano gassose e tutte vengano disperse allo stesso modo. Quindi, se emettiamo dai vari punti di emissione dell'impianto una quantità unitaria di una sostanza inquinante, essa darà luogo ad una distribuzione spazio-temporale di concentrazione al livello del suolo del tutto uguale a quella derivante dall'emissione unitaria di una sostanza chimicamente del tutto differente. Se, viceversa, emettiamo una ben precisa sostanza inquinante (per esempio gli Ossidi di Azoto - NO_X) dai punti di emissione dell'impianto, otterremo, per esempio, la distribuzione spaziale media annua di concentrazione di tale sostanza da cui è facile individuare il valore massimo di concentrazione annua Cmax e la porzione di territorio entro cui la concentrazione media annua risulta non inferiore ad una frazione k (es. 0.01) di Cmax, cioè $C(x,y) \leq k\ Cmax$. Se, però, emettessimo una sostanza chimicamente molto differente (ad esempio diossine) con un tasso di emissione molto lontano da quello degli Ossidi di Azoto considerati prima (per esempio il tasso di emissione delle diossine sia 1/1000 di quello degli NO_X), la porzione di territorio in cui la concentrazione media annua di questa nuova sostanza non è inferiore ad una frazione k della concentrazione massima determinata dall'impianto per tale sostanza è esattamente identica a quella ottenuta per gli Ossidi di Azoto;

- possiamo quindi definire footprint di un impianto quella porzione di territorio i cui punti P di coordinate (x,y) presentano un indicatore della concentrazione di una qualunque sostanza emessa dall'impianto stesso non inferiore ad una

frazione definita del valore massimo assunto dall'indicatore in questione. Per essere più specifici, nello studio si è considerato come indicatore la concentrazione media annua Cy e quindi il footprint dell'impianto è il luogo di punti P(x,y) tali che Cy (x,y) $\leq$ kCymax, dove k = 0.01. Se l'analisi epidemiologica rileverà entro tale area territoriale anomalie sanitarie non rilevate in altre zone, si potrà ragionevolmente ipotizzare che in qualche modo l'impianto ha interferito con la salute della popolazione. Quindi si stabilirà così una relazione causa – effetto tra le attività dell'impianto e la salute di una bene precisa porzione di territorio e di popolazione ivi residente, senza però affermare con certezza quale sia stata la sostanza inquinante responsabile di ciò. L'individuazione di una tale sostanza, se possibile, costituirà una fase successiva dello studio.

Visto che, da quanto si è detto, il footprint di un impianto è determinabile indipendentemente dal tipo di sostanza emessa, ciò che ne determina l'estensione è:

- il numero, la localizzazione spaziale dei vari punti di emissione e la tipologia degli stessi. In particolare, i punti di emissione potranno essere camini o ciminiere, come è il caso della maggior parte delle emissioni provenienti dai termovalorizzatore, o intere superfici, come è il caso delle discariche. Comunque, ogni punto di emissione sarà caratterizzato dalla propria quota di emissione e dalle caratteristiche fisiche dell'emissione (temperatura e velocità delle sostanze emesse, diametro del camino, ecc.);

- l'entità dei tassi di emissione delle singole sorgenti emissive presenti in un dato impianto è di fondamentale importanza, soprattutto in termini relativi. Dato che l'importanza della determinazione del footprint di un impianto sta nel fatto che, una volta nota, essa risulta del tutto indipendente dalla sostanza emessa, ci si troverebbe di fronte ad una difficoltà pratica insormontabile. Per abbattere questa difficoltà, per ogni tipo di impianto si è individuato una sostanza marker caratteristica dell'impianto stesso e si è assunta tale sostanza come rappresentativa di tutto ciò che da quell'impianto viene emesso. In particolare, dato che i termovalorizzatori sono impianti di combustione, la sostanza marker considerata sono gli Ossidi di Azoto NO_X sempre emessi da tali impianti. L'ipotesi adottata è che qualsiasi altra sostanza emessa, nota o ignota,

possiederà tassi di emissione proporzionali a quelli degli NO_X in ogni punto di emissione dell'impianto considerato. Ciò garantisce per il principio della sovrapposizione degli effetti che il footprint degli NO_X sarà identico a quello del PM1, a quello dell'Acido Cloridrico HCl, a quello delle Diossine, ecc. Per quanto riguarda, invece, le discariche, le emissioni relative derivano da ciò che emettono i vari lotti coltivati. Dato che le principali sostanze emesse da una discarica sono sostanze odorigene, la sostanza marker considerata è stata l'Idrogeno Solforato H_2S;

- le modalità con cui la sostanza di disperde nell'aria. Infatti, la generica sostanza emessa da un generico impianto verrà trasportata dal campo di moto (vento) presente nel PBL e verrà dispersa dalla turbolenza ivi presente, campo di moto e turbolenza che devono essere noti in ogni istante del periodo annuale considerato per la determinazione della concentrazione media annua del generico inquinante. Il modo con cui tale sostanza si disperde nell'aria dipende non solo dalle caratteristiche meteorologiche incontrate, ma anche dalle caratteristiche orografiche della zona considerata. Per poter operativamente giungere ad una stima accurata di come si disperdono le sostanze emesse dai vari impianti presenti nel Lazio, è stato necessario ricostruire con modelli meteorologici la distribuzione spaziale e temporale delle diverse variabili meteorologiche e micrometeorologiche, assimilare tali campi con le misure disponibili e, una volta disponili queste informazioni, fornirle ad un opportuno modello di simulazione della dispersione degli inquinanti in aria in grado di operare realisticamente nelle diverse realtà territoriali della regione. Come vedremo, l'anno meteorologico preso a riferimento è il 2005 e le ragioni di tale scelta verranno fornite successivamente.

3 Inquadramento territoriale

3.1 Discariche

Nella regione Lazio il numero degli impianti di discarica per rifiuti urbani è pari a nove; di seguito si elenca la località con la rispettiva provincia e la data di attivazione di ogni impianto e nella mappa successiva si può osservare la loro distribuzione territoriale.

Localizzazione	Provincia	Data di Attivazione
Malagrotta	Roma	1988
Guidonia	Roma	01/11/1991
Albano	Roma	1995
Colleferro	Roma	01/03/1997
Viterbo	Viterbo	2000
Borgo Montello	Latina	24/09/2001
Roccasecca	Frosinone	28/11/2002
Bracciano	Roma	25/05/2007
Civitavecchia	Roma	05/02/2008

Tabella 3.1. Discariche del Lazio in esame e relativa data di attivazione

Figura 3.1. Inquadramento territoriale delle discariche nella regione Lazio

Per analizzare l'impatto ambientale sul territorio dovuto agli impianti di gestione dei rifiuti urbani, è stato definito di prendere in esame il territorio costituito dai comuni che intercettano il raggio di 3 km con centro ogni discarica, così facendo l'area considerata nel *Rapporto Ambiente* è costituita da 26 comuni della regione Lazio.
Per una maggiore chiarezza dei dati connessi all'area relativa alla singola discarica si è deciso di associare a quest'ultima un codice (da D1 a D9) per individuare con rapidità le informazioni a loro collegate. Al codice D1 sono associati i dati inerenti il territorio di Roma; al codice D2 sono associati i dati inerenti il territorio di Fonte Nuova, Guidonia, Montecelio e Sant'Angelo Romano; il significato degli altri codici è riportato nella figura e tabella successiva.

Figura 3.2. Codici di riferimento per ogni discarica

Codice	Impianto	Comuni
D1	Discarica di Malagrotta	Roma
D2	Discarica di Guidonia	Fonte Nuova
		Guidonia Montecelio
		Sant'Angelo Romano
D3	Discarica di Albano	Albano Laziale
		Aprilia
		Ardea
		Ariccia
		Pomezia
		Roma
D4	Discarica di Colleferro	Artena
		Colleferro
		Genazzano
		Paliano
		Segni
		Valmontone

Codice	Impianto	Comuni
D5	Discarica di Viterbo	Viterbo
		Montefiascone
D6	Discarica di Borgo Montello	Latina
D7	Discarica di Roccasecca	Arce
		Colfelice
		Pontecorvo
		Roccasecca
		San Giovanni Incarico
D8	Discarica di Bracciano	Bracciano
		Cerveteri
D9	Discarica di Civitavecchia	Civitavecchia

Tabella 3.2. Codici di riferimento delle discariche

Popolazione

La popolazione totale residente nel 2008 nei comuni in osservazione è pari a 3.456.849 abitanti dei quali 2.721.558 sono residenti nel comune di Roma.

Codice	Comune	Popolazione residente nel 2008
D1	Roma	2.721.558
D2	Fonte Nuova	26.981
	Guidonia Montecelio	79.994
	Sant'Angelo Romano	4.218
D3	Albano Laziale	38.992
	Aprilia	67.606
	Ardea	40.124
	Ariccia	18.183
	Pomezia	57.363
	Roma	2.721.558
D4	Artena	13.384

Codice	Comune	Popolazione residente nel 2008
	Colleferro	21.964
	Genazzano	5.902
	Paliano	8.179
	Segni	9.362
	Valmontone	14.655
D5	Viterbo	61.754
	Montefiascone	13.506
D6	Latina	116.320
D7	Arce	5.941
	Colfelice	1.839
	Pontecorvo	13.265
	Roccasecca	7.594
	San Giovanni Incarico	3.440
D8	Bracciano	17.817
	Cerveteri	34.847
D9	Civitavecchia	52.061
Totale comuni		**3.456.849**
Totale comuni escluso Roma		*735.288*
Totale provincia di Viterbo		*313.087*
Totale Provincia di Frosinone		*495.866*
Totale provincia di Latina		*541.215*
Totale provincia di Roma		*4.085.789*
Totale Regione Lazio		*5.593.864*

Tabella 3.3. Popolazione residente nei comuni limitrofi alle discariche (fonte:ISTAT "Stima del carico inquinante delle acque reflue urbane anno 2005-2008")

Utilizzazione Suolo

Il territorio che interessa le discariche è per circa il 17% costituito da aree ad intensa attività antropica in generale adiacente alle aree ad uso agricolo, si veda al riguardo la Tavola 1 "Fattori di sensibilità ambientale".

Uso del suolo per i comuni in osservazione	Superficie [ha]
Aree agricole	196.058
Aree naturali	74.414
Aree urbane	38.427
Aree industriali e commerciali	16.664
Laghi e bacini	4.354
Servizi	2.698

Uso del suolo per i comuni in osservazione	Superficie [ha]
Reti stradali	1.630
Aree aeroportuali ed eliporti	1.320
Reti ferroviarie	455
Laghi costieri	403
Aree archeologiche	274
Bacini artificiali	110
Aree portuali	86
Altro	3.966
Totale	**340.859**

Tabella 3.4. Uso del suolo (fonte: Regione Lazio)

Le attività economiche presenti nell'area coinvolgono complessivamente 967.328 addetti dei quali 842.733 nel comune di Roma.

Codice	Comune	Numero di addetti
D1	Roma	842.733
	Totale D1	*842.733*
D2	Fonte Nuova	1.272
	Guidonia Montecelio	7.422
	Sant'Angelo Romano	111
	Totale D2	*8.805*
D3	Albano Laziale	6.464
	Aprilia	14.286
	Ardea	2.103
	Ariccia	4.791
	Pomezia	28.127
	Roma	842.733
	Totale D3	*898.504*
D4	Artena	921
	Colleferro	6.688
	Genazzano	459
	Paliano	1.465
	Segni	850
	Valmontone	970
	Totale D4	*11.353*
D5	Viterbo	24.442
	Montefiascone	3.071
	Totale D5	*27.513*
D6	Latina	40.000

Codice	Comune	Numero di addetti
	Totale D6	*40.000*
D7	Arce	839
	Colfelice	315
	Pontecorvo	2.472
	Roccasecca	1.573
	San Giovanni Incarico	379
	Totale D7	*5.578*
D8	Bracciano	2.105
	Cerveteri	1.908
	Totale D8	*4.013*
D9	Civitavecchia	11.522
	Totale D9	*11.522*
Totale comuni		**967.328**
Totale provincia di Viterbo		*46.791*
Totale provincia di Latina		*88.185*
Totale provincia di Frosinone		*101.565*
Totale provincia di Roma		*1.030.955*
Totale Regione Lazio		*1.291.766*

Tabella 3.5. Numero di addetti nelle attività economiche dei comuni sotto osservazione (fonte ISTAT "Censimento industria e servizi 2001–Classificazione delle attività economiche Ateco 2007")

Infrastrutture

Le principali infrastrutture di trasporto presenti nell'area ospitante le discariche sono elencate nella tabella successiva.

Codice	Principali infrastrutture di trasporto nei comuni in osservazione
D1 (Malagrotta)	Strada dei Parchi (A24), Autostrada del Sole (A1), via Casilina (SS6), Circonvallazione Orientale, linea ferroviaria Roma – Napoli.
D2 (Guidonia)	Autostrada del Sole (A1), via Nomentana, via Palombarese, via dell'Inviolata.
D3 (Albano)	Strada Statale Pontina, via Appia, via Laurentina, linea ferroviaria Roma – Napoli.

Codice	Principali infrastrutture di trasporto nei comuni in osservazione
D4 (Colleferro)	Autostrada Roma-Napoli, via Casilina (SS6), via Tuscolana (SS215), linea ferroviaria Roma-Napoli.
D5 (Viterbo)	Raccordo Civitavecchia-Orte (SS204), strada statale Cassia (SS2), linea ferroviaria Roma - Viterbo, strade provinciali Tuscanese (SP2) e Martana (SP7).
D6 (Borgo Montello)	via Pontina (SS 148), Via Appia (SS 7), linea ferroviaria Roma-Napoli, strade provinciali del Crocefisso e di Santa Maria.
D7 (Roccasecca)	Autostrada del Sole (A1) e via Civita Farnese (SR 82).
D8 (Bracciano)	via Settevene Palo (SP 4a), la quale si raccorda con la via Aurelia (SS1) e con l'autostrada Azzurra (E 80), linea ferroviaria Cerveteri – Ladispoli e servizio Metropolitano di Roma.
D9 (Civitavecchia)	Raccordo Civitavecchia – Viterbo, via Aurelia Nord e linea ferroviaria Roma – Civitavecchia.

Acque Superficiali

Considerando i corpi idrici di riferimento definiti dalla Regione Lazio ai fini della tutela delle acque, nell'area in esame sono presenti i fiumi elencati nella tabella successiva.

Corsi d'acqua "significativi*" che attraversano i comuni in osservazione	Lunghezza del tratto nel territorio in esame [km]	Lunghezza complessiva nel territorio della Regione Lazio [km]
Fiume Tevere	69,1	191,3
Fiume Aniene	29,4	119,3
Fosso Galeria	27,5	27,5
Fiume Arrone	25,2	37,3
Fiume Liri (a valle)	24,6	45,8
Fiume Sacco	23,7	91,5
Fosso Incastri (Rio Grande)	21,4	21,4
Canale Acque medie	21,2	31,7

Corsi d'acqua "significativi*" che attraversano i comuni in osservazione	Lunghezza del tratto nel territorio in esame [km]	Lunghezza complessiva nel territorio della Regione Lazio [km]
Rio Torto (Fosso di Procula)	19,8	19,8
Rio Cremera della Valchetta	18,6	32,5
Fosso della Magliana	18,0	18,0
Fiume Astura	17,8	18,2
Fosso Malafede	17,6	17,6
Fosso Vaccina	17,4	21,5
Torrente Traponzo	17,1	23,5
Fosso Sanguinara	16,5	21,1
Fosso di Tor Sapienza	12,7	14,1
Fiume Melfa	12,4	52,6
Fosso della Torraccia	11,1	17,9
Bacino Ninfa Sisto	11,0	43,0
Canale Acque alte	9,6	29,6
Fiume Liri (a monte)	8,9	54,8
Forma di S. Oliva	8,8	15,8
Fosso dell'Osa	8,3	10,1
Fosso Savo o Centogocce	8,0	13,7
Fosso della Caffarella	7,3	7,3
Fosso Biedano	5,9	25,2
Fosso di S.Vittorino	4,7	14,9
Fosso Passerano	4,6	9,2
Canale Linea Pio	3,3	21,3
Fosso Spaccasassi	3,2	32,6
Fosso Marangone	2,2	14,1
Canale Botte	1,9	21,9
Fosso delle Cadute (Rio Palidoro)	0,1	25,1
Lunghezza totale	**508,9**	**1.161,2**

Tabella 3.6. Lunghezza dei corsi d'acqua significativi nei territori in esame (fonte Regione Lazio)
*significativi ai sensi del DLgs 152/2006

Aree Naturali Protette

Nell'area in osservazione sono presenti anche delle aree naturali sottoposte a vincoli di tutela.

AREE NATURALI PROTETTE			
Codice	**Comune**	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nell'area naturale protetta [ha]**
D1	Roma	Monumento Naturale Galeria Antica	31,33
D3		Monumento Naturale Parco della Cellulosa	99,83

AREE NATURALI PROTETTE			
Codice	**Comune**	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nell'area naturale protetta [ha]**
		Monumento Naturale Quarto degli Ebrei - Tenuta di Mazzalupetto	185,42
		Parco Naturale Regionale Aguzzano	61,25
		Parco Naturale Regionale Appia Antica	3.250,1
		Parco Naturale Regionale Bracciano - Martignano	1.749,88
		Parco Naturale Regionale Pineto	242,9
		Parco Naturale Regionale Veio	7.067,49
		Riserva Naturale Regionale Decima Malafede	6.088,77
		Riserva Naturale Regionale Insugherata	741,38
		Riserva Naturale Regionale Laurentino Acqua Acetosa	154,27
		Riserva Naturale Regionale Marcigliana	4.683,14
		Riserva Naturale Regionale Monte Mario	233,83
		Riserva Naturale Regionale Nomentum	0,02
		Riserva Naturale Regionale Tenuta dei Massimi	863
		Riserva Naturale Regionale Tenuta di Acquafredda	256,8
		Riserva Naturale Regionale Valle dei Casali	467,54
		Riserva Naturale Regionale Valle dell'Aniene	649,97
		Riserva Naturale Statale Litorale Romano	8.137,13
		Riserva Naturale Statale Tenuta di Castelporziano	5.928,99
D2	Fonte Nuova	Riserva Naturale Regionale Nomentum	458,4
		Riserva Naturale Regionale Marcigliana	0,86
	Guidonia Montecelio	Parco Naturale Regionale Inviolata	542,31
		Riserva Naturale Regionale Marcigliana	0,35
	Sant'Angelo	Riserva Naturale Regionale Macchia	68,98

AREE NATURALI PROTETTE			
Codice	**Comune**	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nell'area naturale protetta [ha]**
	Romano	di Gattacieca e Macchia del Barco	
D3	Albano Laziale	Parco Naturale Regionale dei Castelli Romani	220,11
	Ariccia	Parco Naturale Regionale dei Castelli Romani	671,14
D4	Artena	Monumento Naturale Lago di Giulianello	158,62
		Parco Naturale Regionale Castelli Romani	3,8
	Genazzano	Monumento Naturale La Selva	25,19
D5	Viterbo	Riserva naturale regionale Valle dell'Arcionello	438,87
		Riserva naturale regionale Lago di Vico	0,17
D6	Latina	Parco Nazionale del Circeo	880,64
D7	Arce	Antica Città di Fregellae e Lago S. Giovanni Incarico	342,72
	Pontecorvo	Monti Aurunci	169,94
	San Giovanni in Carico	Antica Città di Fregellae e Lago S. Giovanni Incarico	229,36
D8	Bracciano	Parco Naturale Regionale Bracciano - Martignano (Caldara di Manziana)	0,77
		Parco Naturale Regionale Bracciano - Martignano	5.046,46
	Cerveteri	Monumento Naturale Palude di Torre Flavia	21,94
Totale			**50.173,67**

Tabella 3.7. Superfici dei comuni in osservazione che ricadono in aree naturali protette (Fonte Regione Lazio)

SITI DI IMPORTANZA COMUNITARIA *(SIC)*			
ZONE A PROTEZIONE SPECIALE *(ZPS)*			
Codice	**Comune**	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nel SIC/ZPS [ha]**
D1 D3	Roma	SIC Macchia Grande di Ponte Galeria	1.055,74
		SIC Castel Porziano (Querceti Igrofili)	327,66
		SIC Castel Porziano (Fascia Costiera)	427,7
		SIC Villa Borghese e Villa Pamphili	341,68
		SIC Lago di Bracciano	39,04

SITI DI IMPORTANZA COMUNITARIA *(SIC)*			
ZONE A PROTEZIONE SPECIALE *(ZPS)*			
Codice	**Comune**	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nel SIC/ZPS [ha]**
		SIC Sughereta di Castel di Decima	538,41
		ZPS Compr. Bracciano-Martignano	2.181,42
		ZPS Castel Porziano (Tenuta presidenziale)	6.036,52
D2	Sant'Angelo Romano	SIC Macchia di Sant'Angelo Romano	741,76
D3	Pomezia	SIC Antica Lavinium - Pratica di Mare	47,88
		ZPS Castel Porziano (Tenuta Presidenziale)	1,99
D4	Artena	SIC Cerquone - Doganella	6,63
		SIC Maschio dell'Artemisio	0,07
		ZPS Monti Lepini	831,73
	Colleferro	ZPS Monti Lepini	410,2
	Segni	ZPS Monti Lepini	3.340,5
D5	Viterbo	SIC/ZPS Monte Fogliano e Monte Venere	0,03
		SIC/ZPS Monte Romano	1.589,01
		SIC/ZPS Monte Cimino (versante Nord)	0,26
	Montefiascone	SIC/ZPS Monti Vulsini	1.571,19
		SIC/ZPS Lago di Bolsena	1.871,92
D6	Latina	SIC Zone umide a ovest del fiume Astura	0,18
		SIC Laghi Fogliano. Monaci. Caprolace e Pantani dell'Inferno.	740,61
		SIC Dune del Circeo	59,81
		ZPS Parco Nazionale del Circeo	1.232,27
D7	Roccasecca	SIC/ZPS Gole del Fiume Melfa	57,65
	Pontecorvo	ZPS Monti Ausoni e Aurunci	361,05
D8	Bracciano	SIC Caldara di Manziana	0,77
		SIC Monte Paparano	146,3
		SIC Faggete di Monte Raschio e Oriolo	77,33
		SIC Lago di Bracciano	2.229,44
		ZPS Compr. Bracciano-Martignano	5.328,75
		ZPS Comprensorio Tolfetano-Cerite-Manziate	6.388,37
	Cerveteri	SIC Monte Tosto	62,4
		SIC Sughereta del Sasso	110,55
		ZPS Torre Flavia	21,94

SITI DI IMPORTANZA COMUNITARIA *(SIC)*			
ZONE A PROTEZIONE SPECIALE *(ZPS)*			
Codice	**Comune**	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nel SIC/ZPS [ha]**
		ZPS Comprensorio Tolfetano-Cerite-Manziate	5.372,43
D9	Civitavecchia	ZPS Comprensorio Tolfetano-Cerite-Manziate	1.852,11
Totale			**45.403,3**

Tabella 3.8. Superfici dei comuni in osservazione che ricadono nei SIC o ZPS (fonte Regione Lazio)

3.2 Area complessa di Malagrotta

Il territorio di Malagrotta è caratterizzato da un'elevata concentrazione di impianti industriali, quali la raffineria di Roma, il gassificatore, l'impianto di incenerimento dei rifiuti ospedalieri dell'AMA, il "complesso impiantistico di Malagrotta" che 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 e cave per l'estrazione di materiali da costruzione.

Figura 3.3. Inquadramento territoriale del "complesso impiantistico di Malagrotta" e del gassificatore nell'area di Malagrotta.

<u>Popolazione</u>

La popolazione totale residente, nel 2008 nel comune di Roma è pari a 2.721.558 abitanti.

Comune	Popolazione residente nel 2008
Roma	2.721.558
Totale provincia di Roma	*4.085.789*
Totale Regione Lazio	*5.593.864*

Tabella 3.9. Popolazione residente nel comune di Roma (fonte:ISTAT "Stima del carico inquinante delle acque reflue urbane anno 2005-2008")

Utilizzazione Suolo

Il territorio in osservazione è per circa il 31% costituito da aree ad intensa attività antropica, si veda la Tavola 1 "Fattori di sensibilità Ambientale".

Uso del suolo Comune di Roma	Superficie [ha]
Aree agricole	61.567
Aree naturali	26.092
Aree urbane	23.441
Aree industriali e commerciali	9.309
Servizi	1.932
Reti stradali	1.286
Reti ferroviarie	366
Aree archeologiche	259
Aree aeroportuali ed eliporti	243
Laghi e bacini	198
Aree portuali	20
Bacini artificiali	11
Altro	2.899
Totale	127.623

Tabella 3.10. Utilizzo del suolo nel comune di Roma (fonte: Regione Lazio)

Le attività economiche presenti nel comune di Roma coinvolgono complessivamente 842.733 addetti.

Comune	Numero di addetti
Roma	842.733
Totale	842.733
Totale provincia di Roma	*1.030.955*
Totale Regione Lazio	*1.291.766*

Tabella 3.11. Numero di addetti nelle attività economiche del comune di Roma (fonte ISTAT "Censimento industria e servizi 2001–Classificazione delle attività economiche Ateco 2007")

Infrastrutture

Le principali infrastrutture di trasporto sono rappresentate dalla Strada dei Parchi (A24), dall'Autostrada del Sole (A1), dalla via Casilina (SS6), dalla Circonvallazione Orientale e dalla linea ferroviaria Roma – Napoli.

Acque Superficiali

Considerando i corpi idrici di riferimento definiti dalla Regione Lazio ai fini della tutela delle acque, nell'area in osservazione sono presenti:

- il Fiume Tevere, il Rio Torto (Fosso di Procula), il Fosso della Caffarella, il Fosso della Magliana, il Fosso della Torraccia, il Fosso dell'Osa, il Fosso di S.Vittorino, il Fosso di Tor Sapienza, il Fosso Galeria, il Fosso Malafede, il Fosso Passerano e il Rio Cremera della Valchetta, appartenenti al bacino idrografico del fiume Tevere;
- il Fiume Aniene, appartenente all'omonimo bacino idrografico;
- il il Fiume Arrone, appartenente al bacino idrografico dell'Arrone Sud.

Corsi d'acqua "significativi*" che attraversano i comuni in osservazione	Lunghezza del tratto nel Comune di Roma [km]	Lunghezza complessiva nel territorio della Regione Lazio[km]
Fiume Aniene	29,2	119,3
Fiume Arrone	25,2	37,3
Fiume Tevere	69,1	191,3
Fosso della Caffarella	7,3	7,3
Fosso della Magliana	18,0	18,0
Fosso della Torraccia	11,1	17,9
Fosso dell'Osa	8,3	10,1
Fosso di S.Vittorino	4,7	14,9
Fosso di Tor Sapienza	12,7	14,1
Fosso Galeria	27,5	27,5
Fosso Malafede	17,6	17,6
Fosso Passerano	4,6	9,2
Rio Cremera della Valchetta	18,6	32,5
Rio Torto (Fosso di Procula)	0,7	19,8
Lunghezza totale	**254,6**	**536,8**

Tabella 3.12. Lunghezza dei corsi d'acqua significativi che attraversano il comune di Roma (fonte Regione Lazio)
*significativi ai sensi del DLgs 152/2006

Nella tabella successiva si elencano le superfici di aree naturali sottoposte a vincoli di tutela presenti nel comune di Roma.

AREE NATURALI PROTETTE		
Comune	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nell'area naturale protetta [ha]**
Roma	Monumento Naturale Galeria Antica	31,33
	Monumento Naturale Parco della Cellulosa	99,83
	Monumento Naturale Quarto degli Ebrei - Tenuta di Mazzalupetto	185,42
	Parco Naturale Regionale Aguzzano	61,25
	Parco Naturale Regionale Appia Antica	3.250,10
	Parco Naturale Regionale Bracciano - Martignano	1.749,88
	Parco Naturale Regionale Pineto	242,90
	Parco Naturale Regionale Veio	7.067,49
	Riserva Naturale Regionale Decima Malafede	6.088,77
	Riserva Naturale Regionale Insugherata	741,38
	Riserva Naturale Regionale Laurentino Acqua Acetosa	154,27
	Riserva Naturale Regionale Marcigliana	4.683,14
	Riserva Naturale Regionale Monte Mario	233,83
	Riserva Naturale Regionale Nomentum	0,02
	Riserva Naturale Regionale Tenuta dei Massimi	863,00
	Riserva Naturale Regionale Tenuta di Acquafredda	256,80
	Riserva Naturale Regionale Valle dei Casali	467,54
	Riserva Naturale Regionale Valle dell'Aniene	649,97
	Riserva Naturale Statale Litorale Romano	8.137,13
	Riserva Naturale Statale Tenuta di Castelporziano	5.928,99
Totale		**40.893,02**

Tabella 3.13. Superficie del comune di Roma che ricade nelle aree naturali protette (Fonte Regione Lazio)

SITI DI IMPORTANZA COMUNITARIA *(SIC)* ZONE A PROTEZIONE SPECIALE *(ZPS)*		
Comune	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nel SIC/ZPS [ha]**
Roma	SIC Macchia Grande di Ponte Galeria	1.055,74
	SIC Castel Porziano (Querceti Igrofili)	327,66
	SIC Castel Porziano (Fascia Costiera)	427,70
	SIC Villa Borghese e Villa Pamphili	341,68
	SIC Lago di Bracciano	39,04
	SIC Sughereta di Castel di Decima	538,41
	ZPS Compr. Bracciano-Martignano	2.181,42
	ZPS Castel Porziano (Tenuta presidenziale)	6.036,52
Totale		**10.948,17**

Tabella 3.14. Superficie del comune di Roma che ricade nei SIC o ZPS (Fonte Regione Lazio)

3.3 Termovalorizzatori

Nella regione Lazio sono attivi quattro impianti di termovalorizzazione dei rifiuti, collocati uno nel comune di San Vittore del Lazio, attivo dal 01/08/2002, due nel comune di Colleferro attivi da dicembre 2002 e l'ultimo nel comune di Roma (gassificatore, Malagrotta) avviato nella seconda metà del 2008. Nella figura seguente è illustrata la distribuzione territoriale dei termovalorizzatori.

Figura 3.4. Posizione degli impianti di termovalorizzazione dei rifiuti nella regione Lazio

Per analizzare l'impatto sul territorio dovuto agli impianti di termovalorizzazione è stato stabilito, in analogia con quanto fatto per lo studio delle discariche, di prendere in esame il territorio costituito dai comuni che intercettano il raggio di 3 km con centro ogni termovalorizzatore, così facendo l'area totale di studio è costituita dal territorio di 10 comuni della regione Lazio.

Per una maggiore chiarezza dei dati connessi all'area relativa al singolo impianto si è fissato di associare a quest'ultima un codice (T1…T3) per individuare con rapidità le informazioni a loro collegate.
Al codice T1 sono associati i dati inerenti il territorio di San Vittore del Lazio, Cassino e Cervaro; al codice T2 sono associati i dati inerenti il territorio di Colleferro, Artena, Genazzano, Segni, Paliano e Valmontone; al codice T3 i valori relativi l'area di Roma.

Figura 3.5. Codici di riferimento per ogni impianto di termovalorizzazione dei rifiuti urbani della regione Lazio

Codice	Impianto	Comuni
T1	Termovalorizzatore di San Vittore del Lazio	Cassino
		Cervaro
		San Vittore del Lazio
T2	Termovalorizzatori di Colleferro	Colleferro
		Artena
		Genazzano
		Paliano
		Segni
		Valmontone
T3	Gassificatore di Malagrotta	Roma

Tabella 3.15. Codici identificativi degli impianti di termovalorizzazione dei rifiuti urbani.

Popolazione

La popolazione totale residente nel 2008 nei comuni in osservazione è pari a 2.837.878 abitanti dei quali, come si può osservare dalla seguente tabella, 2.721.558 sono residenti nel comune di Roma.

Codice	Comune	Popolazione residente nel 2008
T3	Roma	2.721.558
T2	Colleferro	21.964
	Artena	13.384
	Genazzano	5.902
	Paliano	8.179
	Segni	9.362
	Valmontone	14.655
T1	Cassino	32.962
	Cervaro	7.187
	San Vittore del Lazio	2.725
Totale Comuni		2.837.878
Totale Comuni escluso Roma		*116.320*
Totale Regione Lazio		*5.593.864*

Tabella 3.16. Popolazione residente nei comuni limitrofi agli impianti di termovalorizzazione dei rifiuti urbani. (fonte:ISTAT "Stima del carico inquinante delle acque reflue urbane anno 2005-2008")

Utilizzazione Suolo

Il territorio comprendente i termovalorizzatori è per circa il 23% costituito da aree ad intensa attività antropica, si veda la Tavola 1 "Fattori di sensibilità ambientale".

Uso del suolo per i comuni in osservazione	Superficie [ha]
Aree agricole	87.491
Aree naturali	39.941
Aree urbane	25.830
Aree industriali e commerciali	10.275
Servizi	1.990

Uso del suolo per i comuni in osservazione	Superficie [ha]
Reti stradali	1.425
Reti ferroviarie	382
Aree archeologiche	262
aree aeroportuali ed eliporti	243
Laghi e bacini	225
aree portuali	20
Bacini artificiali	11
Altro	3.888
Somma Totale	**171.983**

Tabella 3.17. Utilizzo del suolo nelle aree in esame (fonte: Regione Lazio)

Attività economiche

Le attività economiche presenti nell'area coinvolgono complessivamente 865.436 addetti.

Codici	Comune	Addetti
T1	Cassino	10.414
	Cervaro	507
	San Vittore del Lazio	429
	Totale T1	*11.350*
T2	Artena	921
	Colleferro	6.688
	Genazzano	459
	Paliano	1.465
	Segni	850
	Valmontone	970
	Totale T2	*11.353*
T3	Roma	842.733
	Totale T3	*842.733*
Totale comuni		**865.436**
Totale provincia di Roma		*1.030.955*
Totale provincia di Frosinone		*101.565*
Totale Regione Lazio		*1.291.766*

Tabella 3.18. Numero di addetti nelle attività economiche dei comuni sotto osservazione (fonte ISTAT "Censimento industria e servizi 2001– Classificazione delle attività economiche Ateco 2007")

Infrastrutture

Le principali infrastrutture di trasporto sono rappresentate dall'autostrada del Sole (A1) dalla via Casilina (SS6), dalla linea ferroviaria Roma-Napoli, dalla via Tuscolana (SS215), dalla Strada dei Parchi (A24), dall'Autostrada del Sole (A1) e dalla Circonvallazione Orientale.

Acque Superficiali

Considerando i corpi idrici di riferimento definiti dalla regione Lazio ai fini della tutela delle acque, nell'area in esame sono presenti:

- il fiume Gari e il fiume Rapido appartenenti al bacino idrografico del Liri – Garigliano;
- il fiume Sacco e il fosso Savo (o fosso Centogocce) appartenenti al Bacino Sacco;
- il fiume Tevere, il Rio Torto (fosso di Procula), il Fosso della Caffarella, il fosso della Magliana, il fosso della Torraccia, il Fosso dell'Osa, il Fosso di S.Vittorino, il fosso di Tor Sapienza, il Fosso Galeria, il fosso Malafede, il fosso Passerano e il Rio Cremera della Valchetta, appartenenti al bacino idrografico del fiume Tevere;
- il fiume Aniene, appartenente all'omonimo bacino idrografico;
- il fiume Arrone, appartenente al bacino idrografico dell'Arrone Sud.

Corsi d'acqua "significativi*" che attraversano i comuni in osservazione	Lunghezza del tratto nel territorio in esame [km]	Lunghezza complessiva nel territorio della regione Lazio [km]
Fiume Gari	15,2	17,29
Fiume Rapido	12,8	31,22
Fiume Sacco	23,7	91,5
Fosso Savo o Centogocce	8,0	13,7
Fiume Aniene	29,2	119,3
Fiume Arrone	25,2	37,3
Fiume Tevere	69,1	191,3
Fosso della Caffarella	7,3	7,3
Fosso della Magliana	18,0	18,0
Fosso della Torraccia	11,1	17,9
Fosso dell'Osa	8,3	10,1
Fosso di S.Vittorino	4,7	14,9

Corsi d'acqua "significativi*" che attraversano i comuni in osservazione	Lunghezza del tratto nel territorio in esame [km]	Lunghezza complessiva nel territorio della regione Lazio [km]
Fosso di Tor Sapienza	12,7	14,1
Fosso Galeria	27,5	27,5
Fosso Malafede	17,6	17,6
Fosso Passerano	4,6	9,2
Rio Cremera della Valchetta	18,6	32,5
Rio Torto (Fosso di Procula)	0,7	19,8
Lunghezza totale	**314,3**	**690,5**

Tabella 3.19. Lunghezza dei corsi d'acqua significativi nei territori in osservazione e nella regione Lazio (fonte Regione Lazio)
*significativi ai sensi del DLgs 152/2006

Aree Naturali Protette

Nell'area in osservazione, che comprende i termovalorizzatori, sono presenti anche delle aree naturali sottoposte a vincoli di tutela.

Aree Naturali Protette		
Comune	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nell'area naturale protetta [ha]**
Roma	Monumento Naturale Galeria Antica	31,33
	Monumento Naturale Parco della Cellulosa	99,83
	Monumento Naturale Quarto degli Ebrei - Tenuta di Mazzalupetto	185,42
	Parco Naturale Regionale Aguzzano	61,25
	Parco Naturale Regionale Appia Antica	3.250,10
	Parco Naturale Regionale Bracciano - Martignano	1.749,88
	Parco Naturale Regionale Pineto	242,90
	Parco Naturale Regionale Veio	7.067,49
	Riserva Naturale Regionale Decima Malafede	6.088,77
	Riserva Naturale Regionale Insugherata	741,38
	Riserva Naturale Regionale Laurentino Acqua Acetosa	154,27
	Riserva Naturale Regionale Marcigliana	4.683,14
	Riserva Naturale Regionale Monte Mario	233,83
	Riserva Naturale Regionale Nomentum	0,02
	Riserva Naturale Regionale Tenuta dei Massimi	863,00
	Riserva Naturale Regionale Tenuta di Acquafredda	256,80
	Riserva Naturale Regionale Valle dei Casali	467,54

Aree Naturali Protette		
Comune	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nell'area naturale protetta [ha]**
	Riserva Naturale Regionale Valle dell'Aniene	649,97
	Riserva Naturale Statale Litorale Romano	8.137,13
	Riserva Naturale Statale Tenuta di Castelporziano	5.928,99
Artena	Monumento Naturale Lago di Giulianello	158,62
	Parco Naturale Regionale Castelli Romani	3,80
Genazzano	Monumento Naturale La Selva	25,19
Somma Totale		**41.080,63**

Tabella 3.20. Superfici dei comuni in osservazione che ricadono in aree naturali protette (Fonte Regione Lazio)

SITI DI IMPORTANZA COMUNITARIA *(SIC)*		
ZONE A PROTEZIONE SPECIALE *(ZPS)*		
Comune	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nel SIC/ZPS [ha]**
Roma	SIC Macchia Grande di Ponte Galeria	1.055,74
	SIC Castel Porziano (Querceti Igrofili)	327,66
	SIC Castel Porziano (Fascia Costiera)	427,70
	SIC Villa Borghese e Villa Pamphili	341,68
	SIC Lago di Bracciano	39,04
	SIC Sughereta di Castel di Decima	538,41
	ZPS Compr. Bracciano-Martignano	2.181,42
	ZPS Castel Porziano (Tenuta presidenziale)	6.036,52
Artena	SIC Cerquone - Doganella	6,63
	SIC Maschio dell'Artemisio	0,07
	ZPS Monti Lepini	831,73
Colleferro	ZPS Monti Lepini	410,20
Segni	ZPS Monti Lepini	3.340,50
Somma Totale		**15.537,30**

Tabella 3.21. Superfici dei comuni in osservazione che ricadono nei SIC o ZPS (Fonte Regione Lazio)

3.4 Trattamento Meccanico Biologico

Gli impianti di trattamento meccanico biologico presenti nella regione Lazio sono sette, di seguito si elenca la località con la rispettiva provincia e la data di attivazione di ogni impianto.

Localizzazione	Provincia	Data di Attivazione
Colfelice	Frosinone	1997
Albano	Roma	1998
Casale Bussi	Viterbo	2000
Malagrotta	Roma	2003
Rocca Cencia	Roma	2006
Malagrotta	Roma	2008
Roma Salaria	Roma	2008

Tabella 3.22. Località, provincia e data di inizio attività dei TMB presenti nel Lazio

Figura 3.6. Posizione degli impianti di Trattamento Meccanico Biologico dei rifiuti nella regione Lazio.

Per analizzare l'impatto sul territorio dovuto agli impianti di TMB dei rifiuti è stato definito di prendere in esame il territorio costituito da tutti i comuni che intercettano il raggio di 3 km con centro ogni impianto, così facendo l'area totale di studio è costituita dal territorio di 14 comuni della regione Lazio.

Per una maggiore chiarezza dei dati connessi al territorio relativo al singolo impianto si è deciso di associare a quest'ultimo un codice (TMB1, TMB2, ..., TMB7) per individuare con rapidità le informazioni a loro collegate.
Al codice TMB1 sono associati i dati inerenti il territorio di Arce, Colfelice, Pontecorvo, Roccasecca e San Giovanni Incarico; per il significato degli altri codici consultare la tabella successiva.

Codice	Impianto	Comuni
TMB1	TMB di Colfelice	Arce
		Colfelice
		Pontecorvo
		Roccasecca
		San Giovanni Incarico
TMB2	TMB di Albano	Albano Laziale
		Aprilia
		Ardea
		Ariccia
		Pomezia
		Roma

Codice	Impianto	Comuni
TMB3	TMB di Casale Bussi	Viterbo
		Vitorchiano
TMB4	TMB di Malagrotta	Roma
TMB5	TMB di Rocca Cencia	Monte Compatri
		Roma
TMB6	TMB di Malagrotta	Roma
TMB7	TMB di Roma Salaria	Roma

Tabella 3.23 Codici associati agli impianti di trattamento meccanico biologico dei rifiuti urbani

Figura 3.7. Codici di riferimento per ogni impianto di trattamento meccanico biologico dei rifiuti urbani nella regione Lazio

Popolazione

La popolazione totale residente nel 2008 nei 14 comuni in osservazione è pari a 3.052.032 abitanti dei quali, come si può osservare dalla seguente tabella, 2.721.558 sono residenti nel comune di Roma.

Codice	Comune	Popolazione residente nel 2008
TMB1	Arce	5.941
	Colfelice	1.839
	Pontecorvo	13.265
	Roccasecca	7.594
	San Giovanni Incarico	3.440
TMB2	Albano Laziale	38.992
	Aprilia	67.606
	Ardea	40.124
	Ariccia	18.183

Codice	Comune	Popolazione residente nel 2008
	Pomezia	57.363
	Roma	2.721.558
TMB3	Viterbo	61.754
	Vitorchiano	4.454
TMB4	Roma	2.721.558
TMB5	Monte Compatri	9.918
	Roma	2.721.558
TMB6	Roma	2.721.558
TMB7	Roma	2.721.558
Totale comuni		**3.052.032**
Totale comuni escluso Roma		*330.473*
Totale provincia di Viterbo		*313.087*
Totale provincia di Frosinone		*495.866*
Totale provincia di Latina		*541.215*
Totale provincia di Roma		*4.085.789*
Totale Regione Lazio		*5.593.864*

Tabella 3.24. Popolazione residente nei comuni limitrofi agli impianti di TMB (fonte:ISTAT "Stima del carico inquinante delle acque reflue urbane anno 2005-2008")

Utilizzazione Suolo

Il territorio che interessa i TMB presenta circa il 20% di aree a forte intensità antropiche si veda la Tavola 1 "Fattori di sensibilità Ambientale".

Uso del suolo per i comuni in osservazione	Superficie [ha]
aree agricole	130.435
aree naturali	49.406
aree urbane	30.433
aree industriali e commerciali	12.509
servizi	2.165
reti stradali	1.538
aree aeroportuali ed eliporti	1.320
reti ferroviarie	411
aree archeologiche	260

Uso del suolo per i comuni in osservazione	Superficie [ha]
laghi e bacini	227
bacini artificiali	98
aree portuali	20
altro	3.577
Totale	**232.400**

Tabella 3.25. Utilizzo del suolo nelle aree in esame (fonte: Regione Lazio)

Le attività economiche presenti nell'area coinvolgono complessivamente 922.977 addetti dei quali 842.733 nel comune di Roma.

Codice	Comune	Numero di addetti
TMB1	Arce	839
	Colfelice	315
	Pontecorvo	2.472
	Roccasecca	1.573
	San Giovanni Incarico	379
	Totale TMB1	*5.578*
TMB2	Albano Laziale	6.464
	Aprilia	14.286
	Ardea	2.103
	Ariccia	4.791
	Pomezia	28.127
	Roma	842.733
	Totale TMB2	*898.504*
TMB3	Viterbo	17.454
	Vitorchiano	426
	TotaleTMB3	*17.88*
TMB5	Monte Compatri	1.015
	Roma	842.733
	Totale TMB5	*843.748*
TMB4 TMB6 TMB7	Roma	842.733
	Totale TMB4-6-7	*842.733*
Totale Comuni		*922.977*
Totale provincia di Viterbo		*46.791*
Totale provincia di Latina		*88.185*
Totale provincia di Frosinone		*101.565*
Totale provincia di Roma		*1.030.955*
Totale Regione Lazio		*1.291.766*

Tabella 3.26. Numero di addetti nelle attività economiche dei comuni sotto osservazione (fonte ISTAT "Censimento industria e servizi 2001–Classificazione delle attività economiche Ateco 2007")

Infrastrutture

Le principali infrastrutture di trasporto presenti nel territorio comprendente i TMB sono elencate nella tabella successiva.

Codice	Le principali infrastrutture di trasporto nei comuni in osservazione
TMB1	Autostrada del Sole (A1), via Civita Farnese (SR 82).
TMB2	Strada Statale Pontina, via Appia, via Laurentina, linea ferroviaria Roma – Napoli.
TMB3	raccordo Civitavecchia - Orte (SS204), strada statale Cassia (SS2), linea ferroviaria Roma-Viterbo, strade provinciali Teverina e Ombrone.
TMB4 TMB5 TMB6 TMB7	Strada dei Parchi (A24), Autostrada del Sole (A1), via Casilina (SS6), Circonvallazione Orientale e linea ferroviaria Roma – Napoli.

Acque Superficiali

Considerando i corpi idrici di riferimento definiti dalla Regione Lazio ai fini della tutela delle acque, nell'area comprendente i TMB, sono presenti tutti i fiumi elencati nella tabella successiva con le rispettive lunghezze sia nel territorio in osservazione che nell'intera regione Lazio.

Corsi d'acqua "significativi*" che attraversano i comuni in osservazione	Lunghezza del tratto nel territorio in esame [km]	Lunghezza complessiva nel territorio della Regione Lazio[km]
Fiume Sacco	0,01	91,5
Fiume Liri (a monte)	8,9	54,8
Fiume Liri (a valle)	24,6	45,8
Fiume Melfa	12,4	52,6
Forma di S. Oliva	8,8	15,8
Fiume Aniene	29,2	119,3
Fiume Arrone	25,2	37,3
Fiume Astura	3,8	18,2
Fiume Tevere	69,1	191,3
Fosso della Caffarella	7,3	7,3

Corsi d'acqua "significativi*" che attraversano i comuni in osservazione	Lunghezza del tratto nel territorio in esame [km]	Lunghezza complessiva nel territorio della Regione Lazio[km]
Fosso della Magliana	18,0	18,0
Fosso della Torraccia	11,1	17,9
Fosso dell'Osa	10,1	10,1
Fosso di S.Vittorino	4,7	14,9
Fosso di Tor Sapienza	12,7	14,1
Fosso Galeria	27,5	27,5
Fosso Incastri (Rio Grande)	21,4	21,4
Fosso Malafede	17,6	17,6
Fosso Passerano	4,6	9,2
Fosso Spaccasassi	13,2	32,6
Fosso Biedano (Torrente Biedano)	5,9	25,2
Torrente Traponzo (o Fosso Leia)	12,6	23,5
Rio Cremera della Valchetta	18,6	32,5
Rio Torto (Fosso di Procula)	19,8	19,8
Lunghezza totale	**387,1**	**918,2**

Tabella 3.27. Lunghezza dei corsi d'acqua significativi nei territori in osservazione e nella regione Lazio (fonte Regione Lazio)
*significativi ai sensi del DLgs 152/2006

Aree Naturali Protette

Nell'area in osservazione, che comprende i TMB, sono presenti anche delle aree naturali sottoposte a vincoli di tutela.

AREE NATURALI PROTETTE			
Codice	**Comune**	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nell'area naturale protetta [ha]**
TMB1	Arce	Antica Città di Fregellae e Lago S. Giovanni Incarico	342,72
	Pontecorvo	Monti Aurunci	169,94
	San Giovanni in Carico	Antica Città di Fregellae e Lago S. Giovanni Incarico	229,36
TMB2	Albano Laziale	Parco Naturale Regionale dei Castelli Romani	220,11
	Ariccia	Parco Naturale Regionale dei Castelli Romani	671,14
TMB2	Roma	Monumento Naturale Galeria Antica	31,33
TMB4		Monumento Naturale Parco della Cellulosa	99,83
TMB5		Monumento Naturale	185,42

AREE NATURALI PROTETTE			
Codice	**Comune**	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nell'area naturale protetta [ha]**
TMB6 TMB7		Quarto degli Ebrei - Tenuta di Mazzalupetto	
		Parco Naturale Regionale Aguzzano	61,25
		Parco Naturale Regionale Appia Antica	3250,1
		Parco Naturale Regionale Bracciano - Martignano	1.749,88
		Parco Naturale Regionale Pineto	242,9
		Parco Naturale Regionale Veio	7067,49
		Riserva Naturale Regionale Decima Malafede	6.088,77
		Riserva Naturale Regionale Insugherata	741,38
		Riserva Naturale Regionale Laurentino Acqua Acetosa	154,27
		Riserva Naturale Regionale Marcigliana	4.683,14
		Riserva Naturale Regionale Monte Mario	233,83
		Riserva Naturale Regionale Nomentum	0,02
		Riserva Naturale Regionale Tenuta dei Massimi	863
		Riserva Naturale Regionale Tenuta di Acquafredda	256,8
		Riserva Naturale Regionale Valle dei Casali	467,54
		Riserva Naturale Regionale Valle dell'Aniene	649,97
		Riserva Naturale Statale Litorale Romano	8.137,13
		Riserva Naturale Statale Tenuta di Castelporziano	5.928,99
TMB3	Viterbo	Riserva naturale regionale Valle dell'Arcionello	438,87

AREE NATURALI PROTETTE			
Codice	**Comune**	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nell'area naturale protetta [ha]**
		Riserva naturale regionale Lago di Vico	0,17
TMB5	Monte Compatri	Parco Naturale Regionale Castelli Romani	595,9
Somma Totale			**37.472,48**

Tabella 3.27. Superfici dei comuni in osservazione che ricadono in aree naturali protette (Fonte Regione Lazio)

SITI DI IMPORTANZA COMUNITARIA *(SIC)*			
ZONE A PROTEZIONE SPECIALE *(ZPS)*			
Codice	**Comune**	**Denominazione**	**Superficie comunale che ricade nel SIC/ZPS [ha]**
TMB1	Roccasecca	SIC/ZPS Gole del Fiume Melfa	57,65
	Pontecorvo	ZPS Monti Ausoni e Aurunci	361,05
TMB2	Pomezia	SIC Antica Lavinium - Pratica di Mare	47,88
		ZPS Castel Porziano (Tenuta Presidenziale)	1,99
TMB2 TMB4 TMB5 TMB6 TMB7	Roma	SIC Macchia Grande di Ponte Galeria	1.055,74
		SIC Castel Porziano (Querceti Igrofili)	327,66
		SIC Castel Porziano (Fascia Costiera)	427,7
		SIC Villa Borghese e Villa Pamphili	341,68
		SIC Lago di Bracciano	39,04
		SIC Sughereta di Castel di Decima	538,41
		ZPS Compr. Bracciano-Martignano	2.181,42
		ZPS Castel Porziano (Tenuta presidenziale)	6.036,52
TMB3	Viterbo	SIC/ZPS Monte Fogliano e Monte Venere	0,03
		SIC/ZPS Monte Romano	1.589,01
		SIC/ZPS Monte Cimino (versante Nord)	0,26
	Vitorchiano	SIC/ZPS Monte Cimino (versante Nord)	197,01
Somma Totale			**13.203,05**

Tabella 3.28. Superfici dei comuni in osservazione che ricadono nei SIC o ZPS (Fonte Regione Lazio)

4 Stato dell'Ambiente

4.1 Qualità delle acque

La Regione Lazio dispone di una rete di monitoraggio della qualità delle acque superficiali (fiumi, laghi e marino-costiere) e delle acque sotterranee (acque di falda) su cui si articola il programma annuale di monitoraggio realizzato dall'ARPA Lazio. Tale programma consente di valutare lo stato e l'evoluzione della qualità delle acque e costituisce un supporto alla pianificazione di interventi di mitigazione e risanamento.
In questo senso, un quadro complessivo può essere delineato sulla base dei risultati di tutta la rete di monitoraggio nei diversi anni.
Il monitoraggio è finalizzato alla caratterizzazione dello stato ecologico e del grado di compromissione degli acquiferi, dovuto alla presenza di sostanze chimiche "pericolose". L'elaborazione dei risultati analitici consente di classificare le acque secondo diverse categorie corrispondenti a una qualità decrescente.
La valutazione della qualità ambientale dei corsi d'acqua è stata effettuata secondo lo schema previsto dal D.Lgs. 152/99 in quanto i nuovi criteri di valutazione previsti dal D.Lgs. 260/2010 prevedono nuove tipologie di monitoraggio (su base triennale) attualmente in fase di esecuzione. In tal modo è possibile fornire un'indicazione dei trend annuali dello stato di qualità secondo un criterio uniforme ed omogeneo.

Fiumi e Laghi (Stato Ecologico)

1	**Classe 1**	**Elevato**
2	**Classe 2**	**Buono**
3	**Classe 3**	**Sufficiente**
4	**Classe 4**	**Scadente**
5	**Classe 5**	**Pessimo**

Acque Sotterranee

1	**Classe 1**	**Elevato**
2	**Classe 2**	**Buono**
3	**Classe 3**	**Sufficiente**
4	**Classe 4**	**Scadente**
0	**Classe 0 (1)**	**Naturale o Particolare**

(1) se la presenza di tali sostanza è di origine naturale, così come appurato dalle Regioni o dalle Provincie autonome, verrà automaticamente attribuita la classe 0.

Acque di Transizione (TRIX)

1	**Classe 1**	**Elevato**
2	**Classe 2**	**Buono**
3	**Classe 3**	**Mediocre**
4	**Classe 4**	**Scadente**

Presentazione cromatica delle acque con presenza di sostanze pericolose

La presenza di sostanze pericolose in concentrazioni superiori ai valori limite fissati nella tabella 2 dell'Allegato 5, parte quarta, del D. Lgs. 152/06 s.m.i. viene rappresentata cromaticamente con le seguenti modalità.

Assente	**assenza di sostanze pericolose** in concentrazioni superiori ai valori limite fissati dalla normativa
Presente	**presenza di sostanze pericolose** in concentrazioni superiori ai valori limite fissati dalla normativa

4.1.1 Discariche

Per una lettura correlata allo specifico territorio comprendente le discariche si riporta lo stato di qualità delle acque nelle stazioni di misura presenti nell'area (24 stazioni di monitoraggio delle acque superficiali, 6 stazioni di monitoraggio per le acque sotterranee, 2 stazioni di monitoraggio per quelle di transizione e una per il lago di Bracciano).

Per ogni stazione di monitoraggio, nelle tabelle successive, sono riportati gli indici di qualità ambientale secondo la definizione generale prevista per le acque superficiali, sotterranee e di transizione.

Dai risultati ottenuti si evince che, nel periodo di osservazione dal 2006 al 2010, il 37% delle stazioni di monitoraggio presentano uno stato ecologico delle acque "pessimo", il 34% "scadente" e il 29% "sufficiente".

Inoltre il 27% delle stazioni di monitoraggio delle acque superficiali in esame hanno registrato la presenza di sostanze pericolose con valori superiori ai limiti di accettabilità. Per quanto riguarda le acque sotterranee, con riferimento allo stesso periodo 2006-2010, si rileva uno stato di qualità delle acque prevalentemente "buono" in tutte le stazioni monitorate.

Codice Impianto	Bacino idrografico	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Corso d'acqua stazione di campionamento	*Stato ecologico*				
					Anno 2006	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2010
D1/D3	Arrone	4.23	Fiume	Fiume Arrone	3	3	3	3	3
	Arrone	4.24	Fiume	Fiume Arrone	3	3	3	4	3
	Tevere	4.05	Fiume	Fiume Tevere	3	4	4	4	4
	Tevere	4.06	Fiume	Fiume Tevere	3	3	4	3	3
	Tevere	4.07	Fiume	Fiume Tevere	3	3	4	3	3
	Tevere	4.09	Fiume	Fiume Aniene	3	3	3	3	3
	Tevere	4.10	Fiume	Fiume Aniene	3	4	4	4	4
	Tevere	4.11	Fiume	Fiume Aniene	2	3	4	4	4
	Tevere	4.18	Fiume	Fosso Galeria	5	5	5	5	5
	Tevere	4.19	Fiume	Fosso Malafede	3	5	5	4	5
D3	Moscarello	2.08	Fiume	Fosso Leschione	5	4	5	5	4
	Incastri	4.25	Fiume	Fosso Rio Grande	4	4	4	4	4
D4	Sacco	4,15	Fiume	Fiume Sacco	4	4	3	3	3
	Sacco	4,16	Fiume	Fosso Savo	5	5	5	5	5
D6	Moscarello	2.10	Fiume	Fosso Spaccasassi	5	5	5	5	4
	Moscarello	2.11	Fiume	Canale Acque Alte	5	5	5	4	5
	Moscarello	2.12	Fiume	Canale Acque Alte	5	5	5	4	4
	Rio Martino	2.13	Fiume	Canale Acque Medie	3	5	4	3	3
	Rio Martino	2.14	Fiume	Canale Acque Medie	5	5	5	4	5
	Rio Martino	2.15	Fiume	Canale Acque Medie	5	5	4	5	5
	Rio Martino	2.35	Fiume	Fiume Ninfa Sisto	5	5	5	4	5
	Astura	2.28	Fiume	Fiume Astura	5	5	5	5	4
	Astura	2.29	Fiume	Fiume Astura	4	4	4	4	4
D7	Liri-Garigliano	1.08	Fiume	fiume Liri	4	3	3	4	4

Codice Impianto	Bacino idrografico	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Corso d'acqua/stazione di campionamento	***Sostanze pericolose***				
					Anno 2006	**Anno 2007**	**Anno 2008**	**Anno 2009**	**Anno 2010**
D1/D3	Arrone	4.23	Fiume	Fiume Arrone	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
	Arrone	4.24	Fiume	Fiume Arrone	Assente	Assente	Presente*	Presente	Presente*
	Tevere	4.05	Fiume	Fiume Tevere	Assente	Assente	Presente*	Assente	Assente
	Tevere	4.06	Fiume	Fiume Tevere	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
	Tevere	4.07	Fiume	Fiume Tevere	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
	Tevere	4.09	Fiume	Fiume Aniene	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
	Tevere	4.10	Fiume	Fiume Aniene	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
	Tevere	4.11	Fiume	Fiume Aniene	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
	Tevere	4.18	Fiume	Fosso Galeria	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
	Tevere	4.19	Fiume	Fosso Malafede	Assente	Assente	Presente*	Assente	Assente
D3	Moscarello	2.08	Fiume	Fosso Leschione	Assente	Assente	Assente	Presente*	Presente*
	Incastri	4.25	Fiume	Fosso Rio Grande	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
D4	Sacco	4.15	Fiume	Fiume Sacco	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
	Sacco	4.16	Fiume	Fosso Savo	Assente	Assente	Presente*	Presente	Assente
D6	Moscarello	2.10	Fiume	Fosso Spaccasassi	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
	Moscarello	2.11	Fiume	Canale Acque Alte	Assente	Assente	Presente	Assente	Assente
	Moscarello	2.12	Fiume	Canale Acque Alte	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
	Rio Martino	2.13	Fiume	Canale Acque Medie	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
	Rio Martino	2.14	Fiume	Canale Acque Medie	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
	Rio Martino	2.15	Fiume	Canale Acque Medie	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
	Rio Martino	2.35	Fiume	Fiume Ninfa Sisto	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
	Astura	2.28	Fiume	Fiume Astura	Presente	Presente	Presente	Presente	Assente
	Astura	2.29	Fiume	Fiume Astura	Assente	Presente	Presente	Presente	Assente
D7	Liri-Garigliano	1.08	Fiume	fiume Liri	Assente	Assente	Assente	Presente	Assente

*presenza solo di arsenico con valori superiori al limite previsto (fonte Regione Lazio e ARPA Lazio)

Acque Sotterranee

Codice Impianto	Bacino idrografico	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Corso d'acqua/stazione di campionamento	*Chimico base*				
					Anno 2006	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2010
D5	Marta	S08	Acque sotterranee	Mensa Alta	2	2	2	2	2
	Marta	S09	Acque sotterranee	Mensa Bassa	2	2	2	2	2
	Tevere Medio Corso	S07.A	Acque sotterranee	Respoglio	2	2	2	2	2
	Marta	S10	Acque sotterranee	Roncone	2	2	2	2	2
	Tevere Medio Corso	S07B	Acque sotterranee	Settecannelle	2	2	2	2	2
D8	Mignone	S.28	Acque sotterranee	Termini	2	2	2	2	3

Codice Impianto	Bacino idrografico	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Corso d'acqua/stazione di campionamento	*Sostanze Pericolose*				
					Anno 2006	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2010
D5	Marta	S08	Acque sotterranee	Mensa Alta	assente	assente	assente	assente	Presente*
	Marta	S09	Acque sotterranee	Mensa Bassa	assente	assente	assente	assente	Presente*
	Tevere Medio Corso	S07.A	Acque sotterranee	Respoglio	assente	assente	assente	assente	Presente
	Marta	S10	Acque sotterranee	Roncone	assente	assente	assente	assente	Presente
	Tevere Medio Corso	S07B	Acque sotterranee	Settecannelle	assente	assente	assente	assente	Presente
D8	Mignone	S.28	Acque sotterranee	Termini	Presente	Presente	Assente	Presente*	Presente

*presenza solo di arsenico con valori superiori al limite previsto (fonte Regione Lazio e ARPA Lazio)

Laghi

Dai risultati esposti nelle seguenti tabelle, si osserva che lo stato ecologico delle acque del lago di Bracciano, per il periodo di osservazione, è prevalentemente "buono" e che le sostanze pericolose con valori superiori ai limiti di accettabilità sono assenti.

Codice Impianto	Bacino idrografico	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Corso d'acqua/stazione di campionamento	***Stato Ecologico***				
					Anno 2006	**Anno 2007**	**Anno 2008**	**Anno 2009**	**Anno 2010**
D8	Arrone (ARS)	4.26 58.12	Lago	Lago di Bracciano (centro lago)	**2**	**2**	**3**	**2**	**2**

Codice Impianto	Bacino idrografico	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Corso d'acqua/stazione di campionamento	***Sostanze Pericolose***				
					Anno 2006	**Anno 2007**	**Anno 2008**	**Anno 2009**	**Anno 2010**
D8	Arrone (ARS)	4.26 58.12	Lago	Lago di Bracciano (centro lago)	**Assente**	**Assente**	**Assente**	**Assente**	**Assente**

(fonte Regione Lazio e ARPA Lazio)

Acque di Transizione

L'ossigeno disciolto e i nutrienti**,** unitamente al parametro clorofilla "a", sono valutati attraverso l'applicazione dell'indice TRIX, al fine di misurare il livello trofico degli ambienti marino - costieri.

L'indice trofico TRIX interviene nella classificazione dello stato ecologico a supporto degli elementi di qualità biologica. L'indice considera le principali componenti degli ecosistemi marini che caratterizzano la produzione primaria: nutrienti e biomassa fitoplanctonica. Riassume, in un valore numerico, una combinazione di alcune variabili (ossigeno disciolto, clorofilla "a", fosforo totale e azoto inorganico disciolto) che definiscono, in una scala di valori da 1 a 10, le condizioni di trofia e il livello di produttività delle aree

costiere. L'indice e la relativa scala trofica rendono dunque possibile la misura dei livelli trofici in termini rigorosamente quantitativi, nonché il confronto tra differenti sistemi costieri, per mezzo di una scala numerica che copre un'ampia gamma di situazioni trofiche, così come queste si presentano lungo tutto lo sviluppo costiero italiano, e più in generale, nella regione mediterranea.

Codice Impianto	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Lago	Trix				
				Anno 2006	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2010
D6	2.2	Acque di transizione	Lago di Fogliano	2	3	3	4	4
	2.65	Acque di transizione	Lago di Fogliano	2	4	3	4	4

(fonte Regione Lazio e ARPA Lazio)

Figura 4.1. Posizione dei punti di campionamento della rete di monitoraggio della qualità delle acque superficiali e sotterranee in prossimità delle discariche di rifiuti urbani della regione Lazio.

Figura 4.2. Posizione dei punti di campionamento della rete di monitoraggio della qualità delle acque superficiali e sotterranee in prossimità delle discariche di rifiuti urbani della regione Lazio

4.1.2 Area complessa di Malagrotta

Per una lettura correlata allo specifico territorio si riporta lo stato della qualità delle acque superficiali delle 10 stazioni di misura presenti nell'area in esame. Per ogni stazione di monitoraggio, nelle tabelle successive, sono riportati gli indici di qualità ambientale secondo la definizione generale prevista per le acque superficiali.

Bacino idrografico	**Codice Punto di campionamento**	**Tipologia**	**Corso d'acqua/ stazione di campionamento**	***Stato ecologico***				
				Anno 2006	**Anno 2007**	**Anno 2008**	**Anno 2009**	**Anno 2010**
Arrone	4.23	Fiume	Fiume Arrone	3	3	3	3	3
Arrone	4.24	Fiume	Fiume Arrone	3	3	3	4	3
Tevere	4.05	Fiume	Fiume Tevere	3	4	4	4	4
Tevere	4.06	Fiume	Fiume Tevere	3	3	4	3	3
Tevere	4.07	Fiume	Fiume Tevere	3	3	4	3	3
Tevere	4.09	Fiume	Fiume Aniene	3	3	3	3	3
Tevere	4.10	Fiume	Fiume Aniene	3	4	4	4	4
Tevere	4.11	Fiume	Fiume Aniene	2	3	4	4	4
Tevere	4.18	Fiume	Fosso Galeria	5	5	5	5	5
Tevere	4.19	Fiume	Fosso Malafede	3	5	5	4	5

Bacino idrografico	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Corso d'acqua/stazione di campionamento	***Sostanze pericolose***				
				Anno 2006	**Anno 2007**	**Anno 2008**	**Anno 2009**	**Anno 2010**
Arrone	4.23	Fiume	Fiume Arrone	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
Arrone	4.24	Fiume	Fiume Arrone	Assente	Assente	Presente*	Presente	Presente*
Tevere	4.05	Fiume	Fiume Tevere	Assente	Assente	Presente*	Assente	Assente
Tevere	4.06	Fiume	Fiume Tevere	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
Tevere	4.07	Fiume	Fiume Tevere	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
Tevere	4.09	Fiume	Fiume Aniene	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
Tevere	4.10	Fiume	Fiume Aniene	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
Tevere	4.11	Fiume	Fiume Aniene	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
Tevere	4.18	Fiume	Fosso Galeria	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
Tevere	4.19	Fiume	Fosso Malafede	Assente	Assente	Presente*	Assente	Assente

*presenza solo di arsenico con valori superiori al limite previsto (fonte Regione Lazio e ARPA Lazio)

Dai risultati ottenuti si evince che, nel periodo di osservazione dal 2006 al 2010, il 16% delle stazioni di monitoraggio presentano uno stato ecologico delle acque "pessimo", il 30% "scadente" e il 54% "sufficiente".

Inoltre il 40% delle stazioni di monitoraggio delle acque superficiali in esame hanno registrato la presenza di sostanze pericolose (arsenico) con valori superiori ai limiti di accettabilità.

Figura 4.3. Posizione dei punti di campionamento della rete di monitoraggio della qualità delle acque superficiali in prossimità degli impianti di smaltimento dei rifiuti nell'area di Malagrotta.

4.1.3 Termovalorizzatori

Per una lettura correlata allo specifico territorio si riporta lo stato di qualità delle acque delle stazioni di misura presenti nell'area (14 stazioni di monitoraggio delle acque superficiali ed una stazione di monitoraggio per le acque sotterranee).
Il monitoraggio è finalizzato alla caratterizzazione dello stato ecologico e del grado di compromissione degli acquiferi, dovuto alla presenza di sostanze chimiche "pericolose".
Per ogni stazione di monitoraggio, nella tabella successiva, sono riportati gli indici di qualità ambientale secondo la definizione generale prevista per le acque superficiali e sotterranee.
Dai risultati ottenuti si evince che, nel periodo di osservazione dal 2006 al 2010, il 10% delle stazioni di monitoraggio presenta uno stato ecologico delle acque "buono", il 47% "sufficiente", il 24% "scadente" e il 19% "pessimo". Inoltre il 31% delle stazioni di monitoraggio delle acque superficiali in esame hanno registrato la presenza di sostanze pericolose con valori superiori ai limiti di accettabilità.
Per quanto riguarda le acque sotterranee con riferimento periodo 2006-2010, si rileva uno stato di qualità "scadente" nel 2007 e "buono" negli altri anni. Nel periodo 2006-2010 non sono presenti sostanze pericolose con valori superiori ai limiti di accettabilità.

Codice Impianto	Bacino idrografico	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Corso d'acqua/stazione di campionamento	*Stato ecologico*				
					Anno 2006	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2010
T1	Liri Garigliano	1.18	Fiume	Fiume Rapido	2	2	3	2	2
	Liri Garigliano	1.19	Fiume	Fiume Gari	3	2	2	3	3
T2	Sacco	4.15	Fiume	Fiume Sacco	4	4	3	3	3
	Sacco	4.16	Fiume	Fosso Savo	5	5	5	5	5
T3	Arrone	4.23	Fiume	Fiume Arrone	3	3	3	3	3
	Arrone	4.24	Fiume	Fiume Arrone	3	3	3	4	3
	Tevere	4.05	Fiume	Fiume Tevere	3	4	4	4	4
	Tevere	4.06	Fiume	Fiume Tevere	3	3	4	3	3
	Tevere	4.07	Fiume	Fiume Tevere	3	3	4	3	3
	Tevere	4.09	Fiume	Fiume Aniene	3	3	3	3	3
	Tevere	4.1	Fiume	Fiume Aniene	3	4	4	4	4
	Tevere	4.11	Fiume	Fiume Aniene	2	3	4	4	4
	Tevere	4.18	Fiume	Fosso Galeria	5	5	5	5	5
	Tevere	4.19	Fiume	Fosso Malafede	3	5	5	4	5

Codice Impianto	Bacino idrografico	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Corso d'acqua/stazione di campionamento	***Sostanze pericolose***				
					Anno 2006	**Anno 2007**	**Anno 2008**	**Anno 2009**	**Anno 2010**
T1	Liri Garigliano	1.18	Fiume	Fiume Rapido	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
	Liri Garigliano	1.19	Fiume	Fiume Gari	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
T2	Sacco	4.15	Fiume	Fiume Sacco	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
	Sacco	4.16	Fiume	Fosso Savo	Assente	Assente	Presente*	Presente	Assente
T3	Arrone	4.23	Fiume	Fiume Arrone	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
	Arrone	4.24	Fiume	Fiume Arrone	Assente	Assente	Presente*	Presente	Presente*
	Tevere	4.05	Fiume	Fiume Tevere	Assente	Assente	Presente*	Assente	Assente
	Tevere	4.06	Fiume	Fiume Tevere	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
	Tevere	4.07	Fiume	Fiume Tevere	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
	Tevere	4.09	Fiume	Fiume Aniene	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
	Tevere	4.10	Fiume	Fiume Aniene	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
	Tevere	4.11	Fiume	Fiume Aniene	Assente	Assente	Presente*	Presente	Presente*
	Tevere	4.18	Fiume	Fosso Galeria	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
	Tevere	4.19	Fiume	Fosso Malafede	Assente	Assente	Presente*	Assente	Assente

*presenza solo di arsenico con valori superiori al limite previsto (fonte Regione Lazio e ARPA Lazio)

Acque Sotterranee

Codice Impianto	Bacino idrografico	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Corso d'acqua/stazione di campionamento	*Chimico di base*				
					Anno 2006	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2010
T1	Liri Garigliano	S19	Acque sotterranee	Gari Opera di presa	2	4	2	2	2

(fonte Regione Lazio e ARPA Lazio)

Di seguito sono rappresentati i punti di campionamento della rete di monitoraggio della qualità delle acque superficiali considerati.

Figura 4.4. Posizione dei punti di campionamento della rete di monitoraggio della qualità delle acque superficiali nell'area del gassificatore di Malagrotta (RM)

Figura 4.5. Posizione dei punti di campionamento della rete di monitoraggio della qualità delle acque superficiali nell'area dei termovalorizzatori di Colleferro (RM)

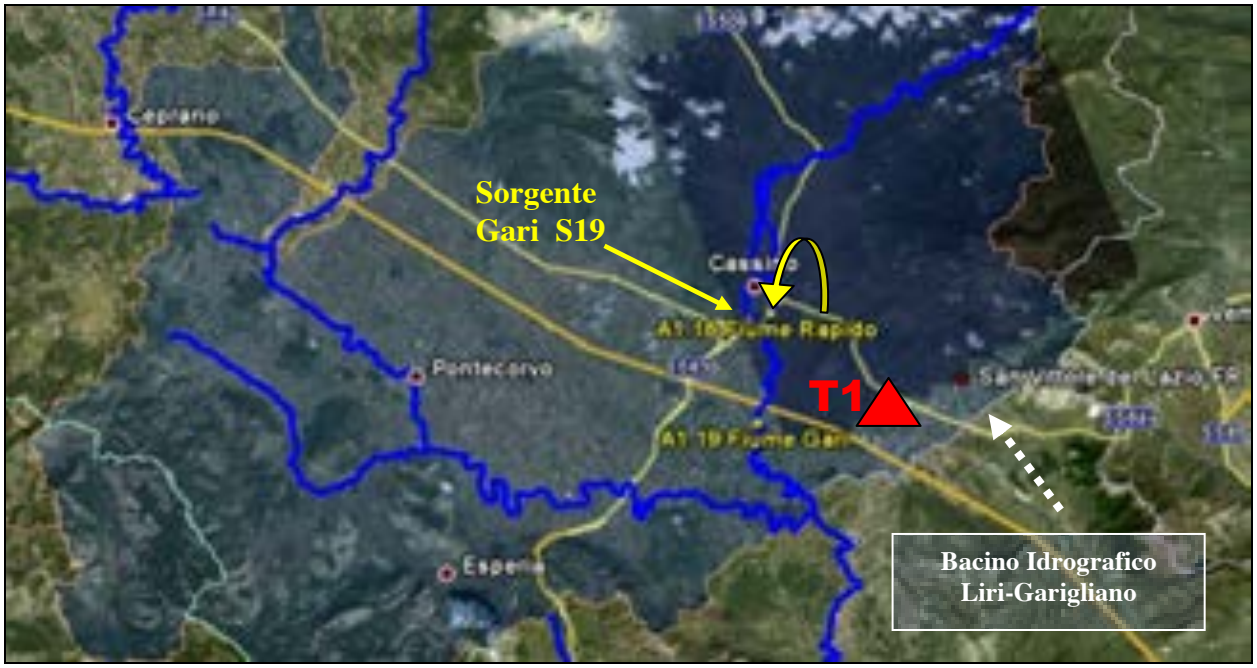


Figura 4.6. Posizione dei punti di campionamento della rete di monitoraggio della qualità delle acque superficiali e sotterranee nell'area del termovalorizzatore di San Vittore del Lazio (FR)

4.1.4 Trattamento Meccanico Biologico

Per una lettura correlata allo specifico territorio si riporta lo stato di qualità delle acque delle stazioni di misura presenti nell'area (11 stazioni di monitoraggio delle acque superficiali e 5 stazioni di monitoraggio per le acque sotterranee).

Il monitoraggio è finalizzato alla caratterizzazione dello stato ecologico e del grado di compromissione degli acquiferi, dovuto alla presenza di sostanze chimiche "pericolose".

Per ogni stazione di monitoraggio, nelle tabelle successive, sono riportati gli indici di qualità ambientale secondo la definizione generale prevista per le acque superficiali e sotterranee. Dai risultati ottenuti si evince che, nel periodo di osservazione dal 2006 al 2010, il 44% delle stazioni di monitoraggio presenta uno stato ecologico delle acque "sufficiente", il 45% "scadente" e l'11% "pessimo". Inoltre il 31% delle stazioni di monitoraggio delle acque superficiali in esame hanno registrato la presenza di sostanze pericolose con valori superiori ai limiti di accettabilità.

Codice Impianto	Bacino idrografico	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Corso d'acqua/ stazione di campionamento	*Stato ecologico*				
					Anno 2006	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2010
TMB1	LiriGarigliano	1.08	Fiume	fiume Liri	4	3	3	4	4
TMB2	Moscarello	2.08	Fiume	Fosso Leschione	5	4	5	5	4
	Incastri	4.25	Fiume	Fosso Rio Grande	4	4	4	4	4
TMB2	Arrone	4.24	Fiume	Fiume Arrone	3	3	3	4	3
	Tevere	4.05	Fiume	Fiume Tevere	3	4	4	4	4
TMB4	Tevere	4.06	Fiume	Fiume Tevere	3	3	4	3	3
TMB5	Tevere	4.07	Fiume	Fiume Tevere	3	3	4	3	3
	Tevere	4.09	Fiume	Fiume Aniene	3	3	3	3	3
TMB6	Tevere	4.10	Fiume	Fiume Aniene	3	4	4	4	4
TMB7	Tevere	4.11	Fiume	Fiume Aniene	2	3	4	4	4
	Tevere	4.19	Fiume	Fosso Malafede	3	5	5	4	5

Codice Impianto	Bacino idrografico	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Corso d'acqua/stazione di campionamento	*Sostanze pericolose*				
					Anno 2006	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2010
TMB1	LiriGarigliano	1.08	Fiume	fiume Liri	Assente	Assente	Assente	Presente	Assente
TMB2	Moscarello	2.08	Fiume	Fosso Leschione	Assente	Assente	Assente	Presente	Presente
	Incastri	4.25	Fiume	Fosso Rio Grande	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
TMB2	Arrone	4.24	Fiume	Fiume Arrone	Assente	Assente	Presente*	Presente	Presente*
	Tevere	4.05	Fiume	Fiume Tevere	Assente	Assente	Presente*	Assente	Assente
TMB4	Tevere	4.06	Fiume	Fiume Tevere	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
TMB5	Tevere	4.07	Fiume	Fiume Tevere	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
	Tevere	4.09	Fiume	Fiume Aniene	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
TMB6	Tevere	4.10	Fiume	Fiume Aniene	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
TMB7	Tevere	4.11	Fiume	Fiume Aniene	Assente	Assente	Presente*	Presente*	Presente*
	Tevere	4.19	Fiume	Fosso Malafede	Assente	Assente	Presente*	Assente	Assente

*presenza solo di arsenico con valori superiori al limite previsto (fonte Regione Lazio e ARPA Lazio)

Per quanto riguarda le acque sotterranee, con riferimento allo stesso periodo 2006-2010, si rileva uno stato di qualità delle acque "buono" in tutte le stazioni monitorate. Nel periodo 2006-2009 non sono presenti sostanze pericolose con valori superiori ai limiti di accettabilità, tali sostanze compaiono nell'anno 2010.

Codice Impianto	Bacino idrografico	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Corso d'acqua/stazione di campionamento	*Chimico base*				
					Anno 2006	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2010
TMB3	Marta	S08	Acque sotterranee	Mensa Alta	2	2	2	2	2
	Marta	S09	Acque sotterranee	Mensa Bassa	2	2	2	2	2
	Tevere Medio Corso	S07.A	Acque sotterranee	Respoglio	2	2	2	2	2
	Marta	S10	Acque sotterranee	Roncone	2	2	2	2	2
	Tevere Medio Corso	S07B	Acque sotterranee	Settecannelle	2	2	2	2	2

Codice Impianto	Bacino idrografico	Codice Punto di campionamento	Tipologia	Corso d'acqua/stazione di campionamento	*Sostanze Pericolose*				
					Anno 2006	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2010
TMB3	Marta	S08	Acque sotterranee	Mensa Alta	assente	assente	assente	assente	Presente
	Marta	S09	Acque sotterranee	Mensa Bassa	assente	assente	assente	assente	Presente
	Tevere Medio Corso	S07.A	Acque sotterranee	Respoglio	assente	assente	assente	assente	Presente
	Marta	S10	Acque sotterranee	Roncone	assente	assente	assente	assente	Presente
	Tevere Medio Corso	S07B	Acque sotterranee	Settecannelle	assente	assente	assente	assente	Presente

(fonte Regione Lazio e ARPA Lazio)

Nelle figure seguenti si mostra la posizione dei punti di campionamento della rete di monitoraggio della qualità delle acque superficiali e sotterranee nelle aree ospitanti i TMB.

Figura 4.7. Posizione dei punti di campionamento della rete di monitoraggio della qualità delle acque sotterranee in prossimità dell'impianto TMB di Viterbo.

Figura 4.8. Posizione dei punti di campionamento della rete di monitoraggio della qualità delle acque superficiali nelle aree ospitanti i TMB.

4.2 Qualità dell'aria

L'ARPA Lazio effettua il monitoraggio della qualità dell'aria ai fini della valutazione della distribuzione su tutto il territorio regionale della concentrazione al suolo delle principali sostanze inquinanti (biossido di zolfo, biossido di azoto, monossido di carbonio, benzene, PM_{10}, $PM_{2.5}$ e ozono). L'attività di monitoraggio viene condotta impiegando in maniera coordinata e finalizzata alla descrizione dell'intera realtà regionale: misure in siti fissi (la tradizionale rete di monitoraggio della qualità dell'aria), misure con sistemi mobili e modelli di calcolo.

4.2.1 Discariche

La rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria è attualmente costituita da 37 stazioni fisse, in particolare, nei comuni ospitanti le discariche vi sono 27 centraline delle quali 17 sono ubicate nel comune di Roma. Le medie degli inquinanti maggiormente significativi sono riportate nelle tabelle successive. Si osservi che, nel periodo 2006-2010, le stazioni che registrano superamenti del valore limite del biossido di azoto (NO_2) sono quelle situate a Roma e a Latina. Per il particolato atmosferico (PM_{10}) i valori superiori ai limiti previsti dalla normativa vigente sono stati registrati in alcune stazioni di Roma, di Colleferro e di Segni nel periodo 2006-2007.

Indici della qualità dell'aria calcolati sulla media delle stazioni di monitoraggio di Roma							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Benzene–C_6H_6	media annua [µg/m^3]	5 µg/m^3	4,2	3,0	2,6	2,3	2,2
Ossido di Carbonio - CO	media annua [mg/m^3]	(*)	1,2	0,9	0,8	0,8	0,7
	numero superamenti	10 mg/m^3 Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biossido di Azoto - NO_2	media annua	40 µg/m^3	68,3	59,8	51,9	54,4	52,2

Indici della qualità dell'aria calcolati sulla media delle stazioni di monitoraggio di Roma							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
	[µg/m^3]						
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	17	14	4	4	3
Ozono - O_3	Media Annua [µg/m^3]	(*)	43,5	38,4	39,1	41,1	43,5
	Numero di superamenti	120 µg/m^3 Media su 8 ore massima giornaliera	15	15	15	16	24
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	43,3	40,3	35,2	34,4	30,6
	numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	87	78	49	41	24
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	1,5	1,8	1,3	1,2	1,0

(*) non è previsto dalla normativa (fonte: ARPA Lazio)

Nell'area di Malagrotta è stata installata nel 2010 una stazione di monitoraggio della rete regionale di qualità dell'aria. Si riportano nella tabella seguente i valori misurati nel periodo 22/02/2010 - 28/12/2010 e quelli del 2011.

Indici qualità dell'aria: valore medio delle concentrazioni rilevate dalla stazione di monitoraggio di Malagrotta				
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**dal 22/02/2010 al 28/12/2010**	**2011**
Benzene – C_6H_6	media annua [µg/m^3]	5 µg/m^3	0.6	0.8
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	22	32
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	0	0

Indici qualità dell'aria: valore medio delle concentrazioni rilevate dalla stazione di monitoraggio di Malagrotta				
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**dal 22/02/2010 al 28/12/2010**	**2011**
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	20	27
	numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	1	27
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	Il periodo di misura non consente il calcolo del valore.	2.3

(fonte: ARPA Lazio)

(*) non è previsto dalla normativa

Indici qualità dell'aria: valore medio delle concentrazioni rilevate dalla stazione di monitoraggio di Civitavecchia							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Ossido di Carbonio - CO	media annua [mg/m^3]	(*)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3
	numero superamenti	10 mg/m^3 Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	0	0	0	0	0
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	34	31	25	26	25
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	0	0	0	0	0
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	27	26	25	24	22
	numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	11	7	6	5	0
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	3.3	3.1	2.3	2.0	0.8

(fonte: ARPA Lazio)

Indici qualità dell'aria: valore medio delle concentrazioni rilevate dalla stazione di monitoraggio di Aprilia							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	30	26	24	28	23
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	1	0	0	1	0
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	-	-	25	24	22
	numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	-	-	7	5	4
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	0,8	0,9	0,7	1	nd

(fonte: ARPA Lazio)

Indici qualità dell'aria: valore medio delle stazioni di monitoraggio di Colleferro e Segni							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Ossido di Carbonio - CO	media annua [mg/m^3]	(*)	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
	numero superamenti	10 mg/m^3 Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	0	0	0	0	0
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	43	39	33	38	37
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	0	0	0	0	0
Ozono – O_3	media annua [µg/m^3]	(*)	40	37	38	33	38
	numero di superamenti	120 µg/m^3 Media su 8 ore massima giornaliera	35	19	12	7	17
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	49	44	38	38	35
	Numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	105	99	62	67	53
Ossidi di Zolfo - SO_2	media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9

(fonte: ARPA Lazio)

Indici qualità dell'aria: valore medio delle concentrazioni rilevate dalla stazione di monitoraggio di Latina							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Benzene – C_6H_6	media annua [µg/m^3]	5 µg/m^3	-	1.7	3	2.1	1.8
Ossido di Carbonio - CO	media annua [mg/m^3]	(*)	0.8	0.7	0.6	0.5	0.6
	numero superamenti	10 mg/m^3 media massima giornaliera calcolata su 8 ore	0	0	0	0	nd
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	57	53	50	61	51
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	14	13	4	6	6
Ozono – O_3	Media annua	(*)	50	45	46	44	45
	Numero di superamenti	120 µg/m^3 media su 8 ore massima giornaliera nell'anno	10	10	2	1	0
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	35	33	29	31	30
	numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	64	41	29	26	28
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	1.1	0.9	0.8	0.9	1.1

(fonte: ARPA Lazio)

Indici qualità dell'aria: valore medio delle concentrazioni rilevate dalla stazione di monitoraggio di Guidonia							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	43	42	38	36	30
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	0	0	0	0	0
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	40	36	30	29	26
	Numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	89	54	36	26	13
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7

(fonte: ARPA Lazio)

4.2.2 Area Complessa di Malagrotta

Nel comune di Roma sono presenti 17 stazioni di monitoraggio della rete regionale della qualità dell'aria, tra queste è compresa la stazione denominata "Malagrotta" divenuta operativa nel mese di febbraio 2010 e posizionata sul retro del plesso scolastico "Nando Martellini" sito in via Ildebrando della Giovanna (località Massimina). Si riportano nella tabella seguente le medie degli inquinanti maggiormente significativi rilevati dalla suddetta centralina dal 22 Febbraio 2010 al 31 Dicembre 2011, tali valori risultano inferiori ai limiti previsti dalla normativa vigente.

Indici qualità dell'aria: valore medio delle concentrazioni rilevate dalla stazione di monitoraggio di Malagrotta				
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**dal 22/02/2010 al 28/12/2010**	**2011**
Benzene – C_6H_6	media annua [µg/m^3]	5 µg/m^3	0.6	0.8
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	22	32
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	0	0
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	20	27
	numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	1	27
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	Il periodo di misura non consente il calcolo del valore.	2.3

(fonte: ARPA Lazio)

(*) non è previsto dalla normativa

Nella tabella successiva sono riportate le medie degli inquinanti maggiormente significativi delle restanti centraline di monitoraggio della qualità dell'aria presenti nel comune di Roma. Si osservi che, nel periodo 2006-2010, le medie ottenute rivelano superamenti del valore limite del biossido di azoto (NO_2) e del particolato atmosferico (PM_{10}).

Indici della qualità dell'aria: media delle concentrazioni rilevate nelle stazioni di monitoraggio di Roma							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Benzene – C_6H_6	media annua [µg/m^3]	5 µg/m^3	4,2	3,0	2,6	2,3	2,2
Ossido di Carbonio - CO	media annua [mg/m^3]	(*)	1,2	0,9	0,8	0,8	0,7
	numero superamenti	10 mg/m^3 Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	68,3	59,8	51,9	54,4	52,2
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	17	14	4	4	3
Ozono - O_3	Media Annua [µg/m^3]	(*)	43,5	38,4	39,1	41,1	43,5
	Numero di superamenti	120 µg/m^3 Media su 8 ore massima giornaliera	15	15	15	16	24
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	43,3	40,3	35,2	34,4	30,6
	numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	87	78	49	41	24
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	1,5	1,8	1,3	1,2	1,0

(*) non è previsto dalla normativa (fonte: ARPA Lazio)

4.2.3 Termovalorizzatori

Nei comuni ospitanti i termovalorizzatori sono presenti 21 centraline della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria, di queste, 17 sono ubicate nel comune di Roma. Le medie degli inquinanti maggiormente significativi sono riportate nelle tabelle successive. Si osservi che, nel periodo 2006-2010, le stazioni che registrano superamenti del valore limite del biossido di azoto (NO_2) sono quelle situate a Roma e Cassino. Per il particolato atmosferico (PM_{10}) i valori superiori ai limiti previsti dalla normativa vigente sono stati registrati nelle stazioni di Roma, di Colleferro, di Segni e Cassino.

Dati qualità dell'aria stazione di monitoraggio di Cassino							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Ossido di Carbonio - CO	media annua [mg/m^3]	(*)	1,2	0,9	0,8	0,8	n.d.
	numero superamenti	10 mg/m^3 Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	0	0	0	0	n.d.
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	59	57	50	46	45
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	0	12	0	0	0
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3		36	37	36	31
	Numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno		54	62	63	47
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	1,1	1,2	1,4	1,4	0,8

(*) non è previsto dalla normativa (fonte: ARPA Lazio)

Indice qualità dell'aria: valore medio delle stazioni di monitoraggio di Colleferro e Segni							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Ossido di Carbonio - CO	media annua [mg/m^3]	(*)	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
	numero superamenti	10 mg/m^3 media massima giornaliera calcolata su 8 ore	0	0	0	0	0
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	43	39	33	38	37
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	0	0	0	0	0
Ozono – O_3	media annua [µg/m^3]	(*)	40	37	38	33	38
	numero di superamenti	120 µg/m^3 media su 8 ore massima giornaliera	69	38	24	14	33
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	49	44	38	38	35
	Numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	105	99	62	67	53
Ossidi di Zolfo - SO_2	media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9

(fonte: ARPA Lazio)

Indici della qualità dell'aria: media delle concentrazioni rilevate nelle stazioni di monitoraggio di Roma							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Benzene – C_6H_6	media annua [µg/m^3]	5 µg/m^3	4,2	3,0	2,6	2,3	2,2
Ossido di Carbonio - CO	media annua [mg/m^3]	(*)	1,2	0,9	0,8	0,8	0,7
	numero superamenti	10 mg/m^3 Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Indici della qualità dell'aria: media delle concentrazioni rilevate nelle stazioni di monitoraggio di Roma							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	68,3	59,8	51,9	54,4	52,2
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	16,8	14,2	4,1	4,3	3,1
Ozono - O_3	Media Annua [µg/m^3]	(*)	43,5	38,4	39,1	41,1	43,5
	Numero di superamenti	120 µg/m^3 Media su 8 ore massima giornaliera	15,0	14,7	15,4	16,0	23,9
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	43,3	40,3	35,2	34,4	30,6
	numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	87,5	78,4	48,8	41,5	23,5
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	1,5	1,8	1,3	1,2	1,0

Indici qualità dell'aria: valore medio delle concentrazioni rilevate dalla stazione di monitoraggio di Malagrotta				
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**dal 22/02/2010 al 28/12/2010**	**2011**
Benzene – C_6H_6	media annua [µg/m^3]	5 µg/m^3	0.6	0.8
Ossido di Carbonio - CO	media annua [mg/m^3]	(*)	-----	-----
	numero superamenti	10 mg/m^3 Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	-----	-----
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	22	32
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	0	0
Particolato atmosferico -	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	20	27

Indici qualità dell'aria: valore medio delle concentrazioni rilevate dalla stazione di monitoraggio di Malagrotta				
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**dal 22/02/2010 al 28/12/2010**	**2011**
PM_{10}	numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	1	27
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	Il periodo di misura non consente il calcolo del valore.	2.3

(*) non è previsto dalla normativa (fonte: ARPA Lazio)

4.2.4 Trattamento Meccanico Biologico

Nel territorio comprendente gli impianti TMB vi sono 20 centraline delle quali 17 sono ubicate nel comune di Roma. Le medie degli inquinanti maggiormente significativi sono riportate nelle tabelle successive. Si osservi che, nel periodo 2006-2010, le stazioni che registrano superamenti del valore limite, media annua del biossido di azoto (NO_2), sono quelle situate a Roma e a Viterbo (solo nel 2008). Per il particolato atmosferico (PM_{10}) i valori della concentrazione media annua superiori al limite previsto dalla normativa vigente sono stati registrati nelle stazioni di Roma; quest'ultime, presentano, inoltre, un numero di superamenti della media giornaliera (dal 2006 al 2009) maggiore del limite annuo consentito.

Indici della qualità dell'aria: media delle concentrazioni rilevate nelle stazioni di monitoraggio di Roma							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Benzene – C_6H_6	media annua [µg/m^3]	5 µg/m^3	4,2	3,0	2,6	2,3	2,2
Ossido di Carbonio - CO	media annua [mg/m^3]	(*)	1,2	0,9	0,8	0,8	0,7
	numero superamenti	10 mg/m^3 Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	68,3	59,8	51,9	54,4	52,2
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	17	14	4	4	3
Ozono - O_3	Media Annua [µg/m^3]	(*)	43,5	38,4	39,1	41,1	43,5
	Numero di superamenti	120 µg/m^3 Media su 8 ore massima giornaliera	15	15	15	16	24
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	43,3	40,3	35,2	34,4	30,6
	numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	87	78	49	41	24

Indici della qualità dell'aria: media delle concentrazioni rilevate nelle stazioni di monitoraggio di Roma							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	1,5	1,8	1,3	1,2	1,0

(*) non è previsto dalla normativa (fonte: ARPA Lazio)

Indici qualità dell'aria: valore medio delle concentrazioni rilevate dalla stazione di monitoraggio di Malagrotta				
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**dal 22/02/2010 al 28/12/2010**	**2011**
Benzene – C_6H_6	media annua [µg/m^3]	5 µg/m^3	0.6	0.8
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	22	32
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	0	0
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	20	27
	numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	1	27
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	Il periodo di misura non consente il calcolo del valore.	2.3

(fonte: ARPA Lazio)

Indici qualità dell'aria: valore medio delle concentrazioni rilevate dalla stazione di monitoraggio di Aprilia							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Biossido di Azoto-NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	30	26	24	28	23
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	1	0	0	1	0
Particolato atmosferico PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	-	-	25	24	22
	numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	-	-	7	5	4

Indici qualità dell'aria: valore medio delle concentrazioni rilevate dalla stazione di monitoraggio di Aprilia							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	0,8	0,9	0,7	1	nd

(fonte: ARPA Lazio)

Indici qualità dell'aria: valore medio delle concentrazioni rilevate dalla stazione di monitoraggio di Viterbo							
Inquinanti	**Dato**	**Valore limite**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Benzene – C_6H_6	media annua [µg/m^3]	5 µg/m^3	2,4	2,1	1,9	1,8	1,5
Ossido di Carbonio - CO	media annua [mg/m^3]	(*)	0,7	0,7	0,5	0,4	0,5
	numero superamenti	10 mg/m^3 Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	0	0	0	0	0
Biossido di Azoto - NO_2	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	37	37	48	33	31
	numero superamenti	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte l'anno	0	0	1	0	0
Particolato atmosferico - PM_{10}	media annua [µg/m^3]	40 µg/m^3	29	27	26	24	23
	numero superamenti	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno	22	13	14	5	4
Ossidi di Zolfo - SO_2	Media annua nel periodo 1 ottobre - 31 marzo [µg/m^3]	20 µg/m^3	1,4	1,3	0,9	1	1

(*) non è previsto dalla normativa (fonte: ARPA Lazio)

4.3 Fattori di pressione

Le attività economiche, a seconda della tipologia e della dimensione, possono costituire un fattore di pressione ambientale.

4.3.1 Discariche

Nel territorio ospitante le discariche dei rifiuti urbani, le attività economiche che vedono impegnate il maggior numero di addetti sono quelle di tipo immobiliare, noleggio, informatica, ricerca e servizi alle imprese nella città di Roma mentre nei restanti comuni prevale l'attività manifatturiera.
Nella tabella successiva si elencano, in ordine decrescente rispetto al numero di addetti nei comuni in osservazione, la tipologia di attività presente nel territorio in esame e per un confronto immediato sono stati anche calcolati, per ogni tipo di attività, il numero di addetti nel solo comune di Roma e quelli nell'intera regione Lazio.

Tipologia attività	Numero addetti comune di Roma	Numero addetti nei comuni in osservazione	Numero addetti nella regione Lazio
Attività immobiliari, noleggio, informatica, ricerca, servizi alle imprese	142 354	157 677	174 068
Amministrazione pubblica	121 777	132 106	153 187
Trasporti magazzinaggio e comunicazioni	97 869	109 808	146 611
Commercio all'ingrosso e al dettaglio, riparazione di autoveicoli, motocicli e di beni personali per la casa	82 400	98 784	130 589
Attività manifatturiere	50 998	89 898	161 141
Sanità e assistenza sociale	74 848	86 855	113 651
Istruzione	66 002	81 700	128 002
Altri servizi pubblici, sociali e personali	62 054	67 346	74 997
Attività finanziarie	52 303	55 947	63 896
Costruzioni	41 869	49 772	73 589
Alberghi e ristoranti	39 938	43 337	54 358
Produzione e distribuzione di energia elettrica, gas e acqua	8 496	10 069	12 855
Agricoltura, caccia e silvicoltura	972	1 263	1 909
Estrazione di minerali	786	1 182	2 152
Pesca, piscicultura e servizi connessi	67	226	761
Somma Totale	**842 733**	**985 970**	**1 291 766**

Tabella 4.1. Tipologia di attività e rispettivi addetti nei comuni in osservazione (fonte ISTAT, Censimento industria e servizi 2001 - Classificazione delle attività economiche Ateco2007)

Nel territorio ospitante le discariche sono presenti 39 impianti industriali (esclusi gli impianti inerenti la gestione dei rifiuti) soggetti ad Autorizzazione Integrata Ambientale (ai sensi del D.Lgs 152/2006 succ. mod e int) dei quali 16 hanno sede nel comune di Roma. Nella tabella 4.2 si indicano il numero e la categoria dei suddetti impianti.

Numero Impianti	Categoria
7	Attività energetiche
9	Produzione e trasformazione dei metalli
5	Industria dei prodotti minerali
8	Industria chimica
10	Altre attività

Tabella 4.2. Numero di impianti industriali per categoria di appartenenza

Inoltre, nelle tabelle successive, si espongono anche la ragione sociale ed il comune della sede delle singole attività industriali in base alla categoria d'appartenenza.

Comune	Ragione Sociale	Attività energetiche
Roma	Aceaelectrabel Montemartini	centrali elettriche
Roma	Raffineria di Roma	raffineria
Roma	Secosvim	centrali elettriche
Roma	Termica Colleferro	centrali elettriche
Roma	Aceaelectrabel Produzione Tor di Valle	centrali elettriche
Civitavecchia	Enel Produzioni Torrevaldaliga Nord	centrali elettriche
Civitavecchia	Tirreno Power Torrevaldaliga Sud	centrali elettriche

Tabella 4.3. Elenco degli impianti industriali di produzione energetica

Comune	Ragione Sociale	Produzione e trasformazione dei metalli
Aprilia	Centro Laminati	trasformazione dei metalli non ferrosi
Latina	Procan	trasformazione dei metalli ferrosi
Latina	Sicamb	trattamento in superficie dei metalli
Roma	Galvanica Bruni	trattamento in superficie dei metalli

Comune	Ragione Sociale	Produzione e trasformazione dei metalli
Roma	Galvanica Italia	trattamento in superficie dei metalli
Albano laziale	Galvanica romana	trattamento in superficie dei metalli
Roma	Ossidal sistemi	trattamento in superficie dei metalli
Roma	Romazinc	trasformazione dei metalli ferrosi
Roma	Trattamenti galvanici industriali	trattamento in superficie dei metalli

Tabella 4.4. Elenco degli impianti industriali di produzione e trasformazione dei metalli

Comune	Ragione Sociale	Industria dei prodotti minerali
Aprilia	OI-Manufacturing Italy	fabbricazione vetro
Guidonia Montecelio	Buzzi Unicem	cementificio
Artena	Fassa	cementificio
Roma	Fornaci	fabbricazione prodotti ceramici
Colleferro	Italcementi	cementificio

Tabella 4.5. Elenco degli impianti di industria dei prodotti minerali

Comune	Ragione Sociale	Industria chimica
Aprilia	Abbott	impianto per la fabbricazione prodotti farmaceutici
Aprilia	Acraf	impianto per la fabbricazione prodotti farmaceutici
Latina	Chemtura Italy	impianto chimico
Latina	Ibi	impianto per la fabbricazione prodotti farmaceutici
Aprilia	Recordati	impianto per la fabbricazione prodotti farmaceutici
Colleferro	Avio	impianto chimico
Pomezia	Menarini	impianto per la fabbricazione prodotti farmaceutici
Pomezia	Procter & Gamble	impianto per la fabbricazione prodotti farmaceutici

Tabella 4.6. Elenco degli impianti di industria chimica

Comune	Ragione Sociale	Altre attività
Aprilia	Crown Italprint	trattamento in superficie di materie
Aprilia	Ilsap	impianti per l'eliminazione di carcasse
Aprilia	Kraft Foods Italia	industria alimentare
Roma	Birra peroni	industria alimentare
Roma	Centrale del latte	trasformazione del latte
Roma	Centro carni di roma	macello
Ariccia	Centro grassi Ariccia	Impianti per l'eliminazione di carcasse
Pomezia	Mida	Impianti per l'eliminazione di carcasse
Roma	Romana macinazione	industria alimentare
Roma	Tor Cervara alimentare	macello

Tabella 4.7. Elenco degli impianti industriali con le rispettive attività e ragione sociale

Stima delle emissioni di inquinanti atmosferici

Le principali sorgenti di emissione in atmosfera presenti nell'area sono costituite

- dagli impianti sopra elencati;
- dalle grandi infrastrutture di trasporto presenti nell'area;
- dalle emissioni diffuse all'interno dei confini amministrativi dei comuni presenti nell'area in esame.

Nell'ambito del piano di risanamento della qualità dell'aria, approvato con Delibera del Consiglio Regionale n.66 del 10 dicembre 2009 (pubblicato sul supplemento ordinario del BUR n.11 del 20 marzo 2010) la Regione Lazio si è avvalsa di una articolata stima delle emissioni di sostanze inquinanti a livello comunale per le diverse tipologie di sorgenti (industria, traffico, ecc.).

Nella tabella successiva sono riportate le emissioni stimate a livello annuo (t/anno) per i comuni sotto osservazione, la rispettiva provincia e regione al fine di consentire un agevole confronto relativo alla "potenziale" criticità dell'area.

CODICE	COMUNI	INQUINANTE [t/anno]					
		CO	NH_3	NMHC	NO_X	PM_{10}	SO_2
D1	Roma	96.984	1.846	26.688	24.322	4.149	4.555
D2	Fonte Nuova, Guidonia Montecelio, Sant'Angelo Romano	7.289	295	2.386	4.003	410	825
D3	Albano Laziale, Aprilia, Ardea, Ariccia, Pomezia e Roma	107.221	2.724	31.659	27.337	4.636	5.069
D4	Artena, Colleferro, Genazzano, Paliano, Segni, Valmontone	6.845	387	1.538	4.405	337	708
D5	Viterbo e Montefiascone	2.945	770	1.580	1.134	244	45
D6	Latina	10.147	968	4.533	1.934	455	69
D7	Arce, Colfelice, Pontecorvo, Roccasecca, San Giovanni Incarico.	3.181	239	710	1.100	176	128

CODICE	COMUNI	INQUINANTE [t/anno]					
		CO	NH_3	NMHC	NO_X	PM_{10}	SO_2
D8	Bracciano e Cerveteri	3.069	226	913	667	131	25
D9	Civitavecchia	12.027	96	4.629	8.441	638	5.720
Confronto	**Totale Comuni**	**152.724**	**5.705**	**47.948**	**49.021**	**7.027**	**12.589**
	Provincia Viterbo	*19.652*	*3.469*	*6.990*	*12.232*	*1.933*	*9.630*
	Provincia di Frosinone	*34.234*	*3.015*	*12.429*	*12.624*	*1.854*	*695*
	Provincia di Latina	*33.278*	*3.744*	*16.394*	*6.778*	*1.508*	*475*
	Provincia di Roma	*181.122*	*5.317*	*53.349*	*55.629*	*8.103*	*13.082*
	Regione Lazio	*275.121*	*17.163*	*94.062*	*89.292*	*13.873*	*23.938*

Tabella 4.8. Stima delle emissioni annue di inquinanti atmosferici

Stima delle emissioni annue comunali del particolato fine (PM_{10}) per tutta la regione Lazio.

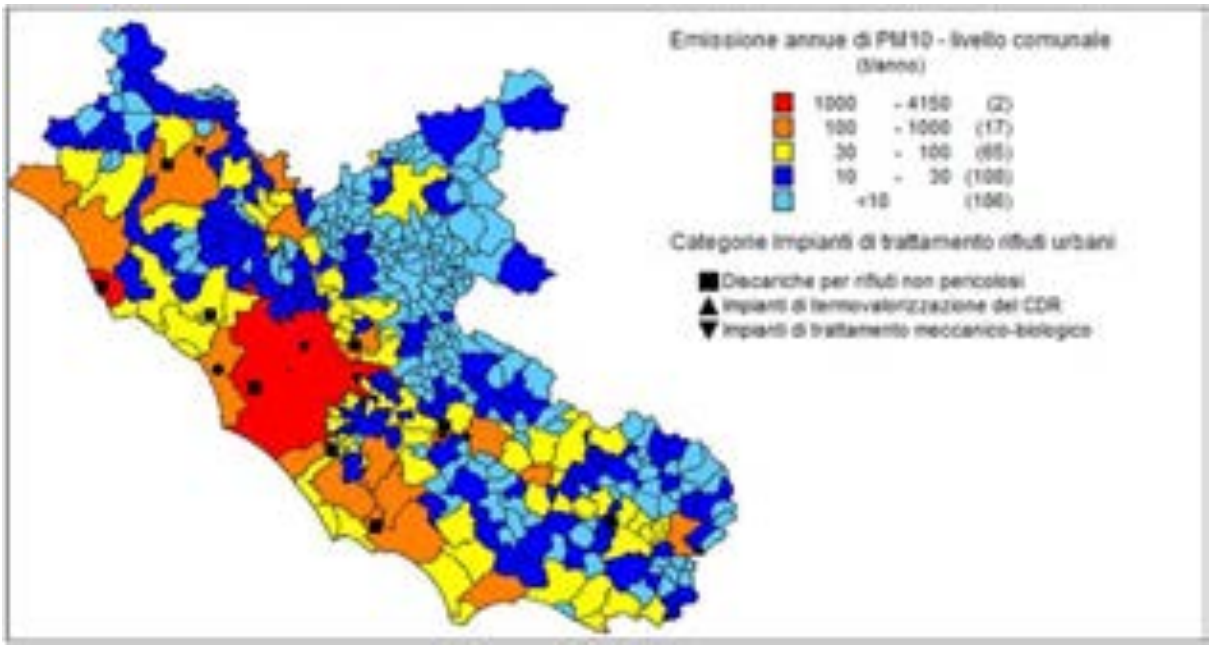


Figura 4.1. Stima emissioni PM_{10}

Acque Reflue urbane e industriali

La stima del carico inquinante delle acque reflue urbane dovuto alle sostanze biodegradabili prodotte dalle attività domestiche ed economiche nel 2008 è riportato nella tabella seguente.

Comuni	Popolazione residente nel 2008	Popolazione presente non residente	Popolazione in case sparse	Lavoratori e studenti pendolari	Posti letto alberghi, campeggi e alloggi per turisti	Abitanti in seconde case (non destinate a turisti)	Ristoranti e bar	Micro industria	Piccola, media e grande industria	Abitanti equivalenti totali urbani (Aetu)	Abitanti equivalenti totali (Aet)
Albano Laziale	38 992	992	-299	-985	475	3 653	5 179	3 388	10 433	51 395	61 827
Aprilia	67 606	1 655	-1 903	-1 040	249	9 897	11 922	8 763	338 431	97 148	435 579
Arce	5 941	122	-1 332	-346	23	1 580	697	293	3 133	6 978	10 111
Ardea	40 124	1 017	-944	-1 922	6 595	40 144	4 617	2 919	24 107	92 549	116 656
Ariccia	18 183	620	-171	-216	273	1 812	3 289	4 401	24 919	28 191	53 110
Artena	13 384	196	0	-658	191	1 926	1 223	604	1 958	16 866	18 824
Bracciano	17 817	638	-2 025	99	1 796	1 581	4 507	760	1 228	25 172	26 401
Cerveteri	34 847	2 115	-4 399	-1 701	162	16 774	4 464	2 070	956	54 331	55 287
Civitavecchia	52 061	1 207	-1 367	250	2 068	2 795	12 942	4 007	93 089	73 962	167 051
Colfelice	1 839	39	-563	-75	0	362	126	118	46 884	1 846	48 730
Colleferro	21 964	578	-41	699	75	1 500	4 609	2 005	6 844	31 388	38 232
Fonte Nuova	26 981	566	-2 021	-1 999	233	1 683	1 633	305	276	27 380	27 656
Genazzano	5 902	145	-564	-255	116	1 334	851	270	44	7 799	7 843
Guidonia Montecelio	79 994	1 970	-1 094	-4 040	501	6 780	6 744	3 629	28 975	94 483	123 458
Latina	116 320	2 843	-11 444	2 385	5 771	15 945	35 806	13 737	150 911	181 363	332 274
Montefiascone	13 506	159	-903	-177	1 239	467	2 938	4 033	2 759	21 262	24 021
Paliano	8 179	212	-1 645	-208	44	1 966	1 346	1 139	9 640	11 032	20 672
Pomezia	57 363	1 291	-4 433	4 218	2 931	24 326	20 601	9 245	448 928	115 543	564 471
Pontecorvo	13 265	45	-4 984	-349	0	1 815	1 064	307	858	11 163	12 021
Roccasecca	7 594	168	-3 644	-165	13	1 065	1 340	823	933	7 194	8 127

Comuni	Popolazione residente nel 2008	Popolazione presente non residente	Popolazione in case sparse	Lavoratori e studenti pendolari	Posti letto alberghi, campeggi e alloggi per turisti	Abitanti in seconde case (non destinate a turisti)	Ristoranti e bar	Micro industria	Piccola, media e grande industria	Abitanti equivalenti totali urbani (Aetu)	Abitanti equivalenti totali (Aet)
Roma	2 721 558	148 840	-26 657	52 792	127 820	217 637	881 577	140 562	1 281 723	4 264 128	5 545 851
San Giovanni Incarico	3 440	42	-1 159	-212	0	566	449	140	554	3 266	3 820
Sant'Angelo Romano	4 218	125	-1 342	-260	38	1 166	372	78	17	4 395	4 412
Segni	9 362	231	-1 617	-596	207	2 683	788	1 121	994	12 180	13 174
Valmontone	14 655	241	-673	-654	23	1 390	2 854	1 159	893	18 994	19 887
Viterbo	61 754	3 025	-7 780	3 562	1 855	10 242	19 815	18 630	19 971	111 103	131 075
Totale	**3 456 842**	**169 082**	**-83 004**	**48 147**	**152 698**	**371 089**	**1 031 754**	**224 504**	**2 499 460**	**5 371 111**	**7 870 571**
Totale Lazio	**5 593 864**	**229 786**	**-318 765**	**2 596**	**266 749**	**948 845**	**1 458 908**	**492 809**	**3 857 201**	**8 674 792**	**12 531 993**

Tabella 4.9. (fonte: Stime del carico inquinante delle acque reflue urbane, 2010, ISTAT)

Naturalmente il carico inquinante "potenziale" è poi soggetto, in generale, a sistemi di trattamento quali depuratori, depuratori industriali e altri sistemi in grado di ridurre l'impatto complessivo sul territorio.

Rifiuti

La produzione di rifiuti urbani può essere stimata utilizzando il dato regionale 2007 di produzione pro capite di rifiuti urbani (604 kg/abitante * anno). In base a tale calcolo, si registra nell'area interessata dalle discariche, una produzione di rifiuti urbani, pari a 2.083.488 tonnellate all'anno.

Codici	Comune	Popolazione residente nel 2008	Produzione rifiuti urbani [t]
D1	Roma	2.721.558	1.643.821
D2	Fonte Nuova	26.981	16.296
	Guidonia Montecelio	79.994	48.316
	Sant'Angelo Romano	4.218	2.548
D3	Albano Laziale	38.992	23.551
	Aprilia	67.606	40.834
	Ardea	40.124	24.235
	Ariccia	18.183	10.983
	Pomezia	57.363	34.647
	Roma	2.721.558	1.643.821
D4	Artena	13.384	8.084
	Colleferro	21.964	13.266
	Genazzano	5.902	3.565
	Paliano	8.179	4.94
	Segni	9.362	5.655
	Valmontone	14.655	8.851
D5	Viterbo	61.754	37.299
	Montefisacone	13.506	8.158
D6	Latina	116.32	70.257
D7	Arce	5.941	3.588
	Colfelice	1.839	1.11
	Pontecorvo	13.265	8.012
	Roccasecca	7.594	4.587
	San Giovanni Incarico	3.44	2.078
D8	Bracciano	17.817	10.761
	Cerveteri	34.847	21.047
D9	Civitavecchia	52.061	31.445
Totale comuni		3.456.849	2.083.488

Tabella 4.10. Stima della produzione dei rifiuti urbani nei comuni in esame
(Fonte: elaborazione dati ISTAT e Rapporto rifiuti 2008, ISPRA)

Anche nel 2008 nella Regione Lazio sono state prodotte oltre 3,3 milioni di tonnellate di rifiuti urbani collocandosi così tra le prime cinque regioni per produzione pro capite.

4.3.2 Area Complessa di Malagrotta

Le attività economiche, a seconda della tipologia e della dimensione, possono costituire un fattore di pressione ambientale.

Nel territorio del comune di Roma le attività economiche che vedono impegnate il maggior numero di addetti sono quelle di tipo immobiliari, noleggio, informatica, ricerca e servizi alle imprese (142.354 addetti che rappresentano circa il 17 % del totale). Le attività riguardanti l'impiego nelle pubbliche amministrazioni impegnano 121.777 addetti (circa il 14 % del totale).

Tipologia attività	Numero addetti
Attività immobiliari, noleggio, informatica, ricerca, servizi alle imprese	142.354
Amministrazione pubblica	121.777
Trasporti magazzinaggio e comunicazioni	97.869
Commercio all'ingrosso e al dettaglio, riparazione di autoveicoli, motocicli e di beni personali per la casa	82.400
Sanità e assistenza sociale	74.848
Istruzione	66.002
Altri servizi pubblici, sociali e personali	62.054
Attività finanziarie	52.303
Attività manifatturiere	50.998
Costruzioni	41.869
Alberghi e ristoranti	39.938
Produzione e distribuzione di energia elettrica, gas e acqua	8.496
Agricoltura, caccia e silvicoltura	972
Estrazione di minerali	786
Pesca, piscicultura e servizi connessi	67
Totale	**842.733**

Tabella 4.11. Elenco delle tipologie delle attività e del rispettivo numero di addetti (fonte ISTAT, Censimento industria e servizi 2001-Classificazione delle attività economiche Ateco 2007)

Inoltre, nel comune di Roma, sono presenti 16 impianti industriali soggetti ad Autorizzazione Integrata Ambientale (ai sensi del D.lgs. 152/2006 succ. mod e int). Nelle tabelle successive si indicano il numero degli impianti, la categoria d'appartenenza ed in funzione di quest'ultima si elencano anche la ragione sociale ed il comune della sede di ogni singolo impianto.

Numero Impianti	Categoria
5	Attività energetiche
5	Produzione e trasformazione dei metalli
1	Industria dei prodotti minerali
0	Industria chimica
5	Altre attività

Tabella 4.12. Numero di impianti industriali per categoria di appartenenza

Comune	Ragione Sociale	Attività energetiche
Roma	Aceaelectrabel Montemartini	centrali elettriche
Roma	Raffineria di Roma	raffineria
Roma	Secosvim	centrali elettriche
Roma	Termica Colleferro	centrali elettriche
Roma	Aceaelectrabel Produzione Tor di Valle	centrali elettriche

Tabella 4.13. Elenco degli impianti industriali di produzione energetica

Comune	Ragione Sociale	Produzione e trasformazione dei metalli
Roma	Galvanica Bruni	trattamento in superficie dei metalli
Roma	Galvanica Italia	trattamento in superficie dei metalli
Roma	Ossidal sistemi	trattamento in superficie dei metalli
Roma	Romazinc	trasformazione dei metalli ferrosi
Roma	Trattamenti galvanici industriali	trattamento in superficie dei metalli

Tabella 4.14. Elenco degli impianti industriali di produzione e trasformazione dei metalli

Comune	Ragione Sociale	Industria dei prodotti minerali
Roma	Fornaci	fabbricazione prodotti ceramici

Tabella 4.15. Elenco degli impianti di industria dei prodotti minerali

Comune	Ragione Sociale	Altre Attività
Roma	Birra peroni	industria alimentare
Roma	Centrale del latte	trasformazione del latte
Roma	Centro carni di roma	macello
Roma	Romana macinazione	industria alimentare
Roma	Tor Cervara alimentare	macello

Tabella 4.16. Elenco degli impianti industriali con le rispettive attività e ragione sociale

Stima delle emissioni di inquinanti atmosferici

Nell'ambito del piano di risanamento della qualità dell'aria, approvato con Delibera del Consiglio Regionale n.66 del 10 dicembre 2009 (pubblicato sul supplemento ordinario del BUR n.11 del 20 marzo 2010) la Regione Lazio si è avvalsa di una articolata stima delle emissioni di sostanze inquinanti a livello comunale per le diverse tipologie di sorgenti (industria, traffico, ecc.).

Nella tabella successiva sono riportate le emissioni stimate a livello annuo (t/anno) per l'area di indagine e quelle relative all'intera provincia e regione al fine di consentire un agevole confronto relativo alla "potenziale" criticità dell'area.

Comune	**Inquinante [t/anno]**					
	CO	**NH_3**	**NMHC**	**NO_X**	**PM_{10}**	**SO_2**
Comune di Roma	96.984	1.846	26.688	24.322	4.149	4.555
Provincia di Roma	*181.122*	*5.317*	*53.349*	*55.629*	*8.103*	*13.082*
Regione Lazio	*275.121*	*17.163*	*94.062*	*89.292*	*13.873*	*23.938*

Tabella 4.17. Stima delle emissioni annue di inquinanti atmosferici

Acque reflue urbane e industriali

La stima del carico inquinante delle acque reflue urbane dovuto alle sostanze biodegradabili prodotte dalle attività domestiche ed economiche nel 2008 è riportato nella tabella seguente.

Comune	Popolazione residente nel 2008	Popolazione presente non residente	Popolazione in case sparse	Lavoratori e studenti pendolari	Posti letto alberghi, campeggi e alloggi per turisti	Abitanti in seconde case (non destinate a turisti)	Ristoranti e bar	Micro industria	Piccola, media e grande industria	Abitanti equivalenti totali urbani (Aetu)	Abitanti equivalenti totali (Aet)
Roma	2721558	148.840	-26.657	52.792	127.820	217.637	881577	140562	1281723	4264128	5545851
totali	2721558	148.840	-26.657	52.792	127.820	217.637	881577	140562	1281723	4264128	5545851

Tabella 4.18. (fonte: Stime del carico inquinante delle acque reflue urbane, 2010, ISTAT)

Naturalmente il carico inquinante "potenziale" è poi soggetto in generale a sistemi di trattamento quali depuratori, depuratori industriali e altri sistemi in grado di ridurre l'impatto complessivo sul territorio.

Rifiuti

La produzione di rifiuti urbani può essere stimata utilizzando il dato regionale 2007 di produzione pro capite di rifiuti urbani (604 kg/abitante*anno).

COMUNE	Popolazione residente nel 2008	Produzione rifiuti urbani [t]
Roma	2.721.558	1.643.821
Totali	**2.721.558**	**1.643.821**

Tabella 4.19. Rifiuti prodotti nel comune di Roma (Fonte: ISTAT, Rapporto rifiuti 2008, ISPRA)

4.3.3 Termovalorizzatori

Nel territorio dei comuni in osservazione (Roma, Cassino, Cervaro, San Vittore del Lazio, Artena, Colleferro, Genazzano, Paliano, Segni e Valmontone) le attività economiche che vedono impegnate il maggior numero di addetti sono quelle di tipo immobiliari, noleggio, informatica, ricerca e servizi alle imprese per la città di Roma e quelle manifatturiere per i comuni restanti.

Tipologia attività	Numero addetti solo a Roma	Numero addetti nei comuni in osservazione	Numero addetti nella regione Lazio
Attività immobiliari, noleggio, informatica, ricerca, servizi alle imprese	142 354	143 774	174 068
Amministrazione pubblica	121 777	123 322	153 187
Trasporti magazzinaggio e comunicazioni	97 869	99 506	146 611
Commercio all'ingrosso e al dettaglio, riparazione di autoveicoli, motocicli e di beni personali per la casa	82 400	83 940	130 589
Sanità e assistenza sociale	74 848	77 098	113 651
Istruzione	66 002	69 673	128 002
Altri servizi pubblici, sociali e personali	62 054	63 282	74 997
Attività manifatturiere	50 998	57 684	161 141
Attività finanziarie	52 303	52 779	63 896
Costruzioni	41 869	43 354	73 589
Alberghi e ristoranti	39 938	40 358	54 358
Produzione e distribuzione di energia elettrica, gas e acqua	8 496	8 778	12 855
Agricoltura, caccia e silvicoltura	972	1 024	1 909
Estrazione di minerali	786	797	2 152
Pesca, piscicultura e servizi connessi	67	67	761
Somma Totale	**842 733**	**865 436**	**1 291 766**

Tabella 4.20. Tipo di attività e rispettivo numero di addetti nei comuni in osservazione (fonte: ISTAT, Censimento industria e servizi 2001-Classificazione delle attività economiche Ateco2007)

Nel territorio ospitante i termovalorizzatori ci sono 19 impianti industriali soggetti ad Autorizzazione Integrata Ambientale (ai sensi del D.lgs. 152/2006 succ. mod e int) dei quali 16 nel comune di Roma. La categoria a cui gli impianti appartengono è espressa nella tabella 4.21.

Numero Impianti	Categoria
5	Attività energetiche
5	Produzione e trasformazione dei metalli
3	Industria dei prodotti minerali
1	Industria chimica
5	Altre attività

Tabella 4.21. Numero di impianti industriali per categoria di appartenenza

Nelle tabelle successive si espongono anche la ragione sociale ed il comune della sede delle singole attività industriali in base alla categoria di appartenenza.

Comune	Ragione Sociale	Attività energetiche
Roma	Aceaelectrabel Montemartini	centrali elettriche
Roma	Raffineria di Roma	raffineria
Roma	Secosvim	centrali elettriche
Roma	Termica Colleferro	centrali elettriche
Roma	Aceaelectrabel Produzione Tor di Valle	centrali elettriche

Tabella 4.22. Elenco degli impianti industriali di produzione energetica

Comune	Ragione Sociale	Produzione e trasformazione dei metalli
Roma	Galvanica Bruni	trattamento in superficie dei metalli
Roma	Galvanica Italia	trattamento in superficie dei metalli
Roma	Ossidal sistemi	trattamento in superficie dei metalli
Roma	Romazinc	trasformazione dei metalli ferrosi
Roma	Trattamenti galvanici industriali	trattamento in superficie dei metalli

Tabella 4.23. Elenco degli impianti industriali di produzione e trasformazione dei metalli

Comune	Ragione Sociale	Industria dei prodotti minerali
Artena	Fassa	cementificio
Roma	Fornaci	fabbricazione prodotti ceramici
Colleferro	Italcementi	cementificio

Tabella 4.24. Elenco degli impianti di industria dei prodotti minerali

Comune	Ragione Sociale	Industria chimica
Colleferro	Avio	impianto chimico

Tabella 4.25. Impianto di industria chimica

Comune	Ragione Sociale	Altre attività
Roma	Birra peroni	industria alimentare
Roma	Centrale del latte	trasformazione del latte
Roma	Centro carni di roma	macello
Roma	Romana macinazione	industria alimentare
Roma	Tor Cervara alimentare	macello

Tabella 4.26. Elenco degli impianti industriali con le rispettive attività e ragione sociale

Stima delle emissioni di inquinanti atmosferici

Le principali sorgenti di emissione in atmosfera presenti nell'area sono costituite

- dagli impianti sopra elencati;
- dalle grandi infrastrutture di trasporto presenti nell'area;
- dalle emissioni diffuse all'interno dei confini amministrativi dei comuni presenti nell'area in esame.

Nell'ambito del piano di risanamento della qualità dell'aria, approvato con Delibera del Consiglio Regionale n.66 del 10 dicembre 2009 (pubblicato sul supplemento ordinario del BUR n.11 del 20 marzo 2010) la Regione Lazio si è avvalsa di una articolata stima delle emissioni di sostanze inquinanti a livello comunale per le diverse tipologie di sorgenti (industria, traffico, ecc.).
Nella tabella successiva sono riportate le emissioni stimate a livello annuo (t/anno) per l'area di indagine e quelle relative all'intera provincia e regione al fine di consentire un agevole confronto relativo alla "potenziale" criticità dell'area.

Comuni	Inquinante [t/anno]					
	CO	NH_3	NMHC	NO_X	PM_{10}	SO_2
Cassino, Cervaro e San Vittore del Lazio	3.483	146	975	1.132	134	29
Artena, Colleferro, Genazzano, Paliano, Segni e Valmontone	6.845	387	1.538	4.405	337	708
Roma	96.984	1.846	26.688	24.322	4.149	4.555
Provincia di Roma	181.122	5.317	53.349	55.629	8.103	13.082
Provincia di Frosinone	34.234	3.015	12.429	12.624	1.854	695
Regione Lazio	275.121	17.163	94.062	89.292	13.873	23.938

Tabella 4.27. Stima delle emissioni annue di inquinanti atmosferici

Nella figura seguente è rappresentata la stima delle emissioni annue comunali del particolato fine (PM_{10}) per tutta la regione Lazio.

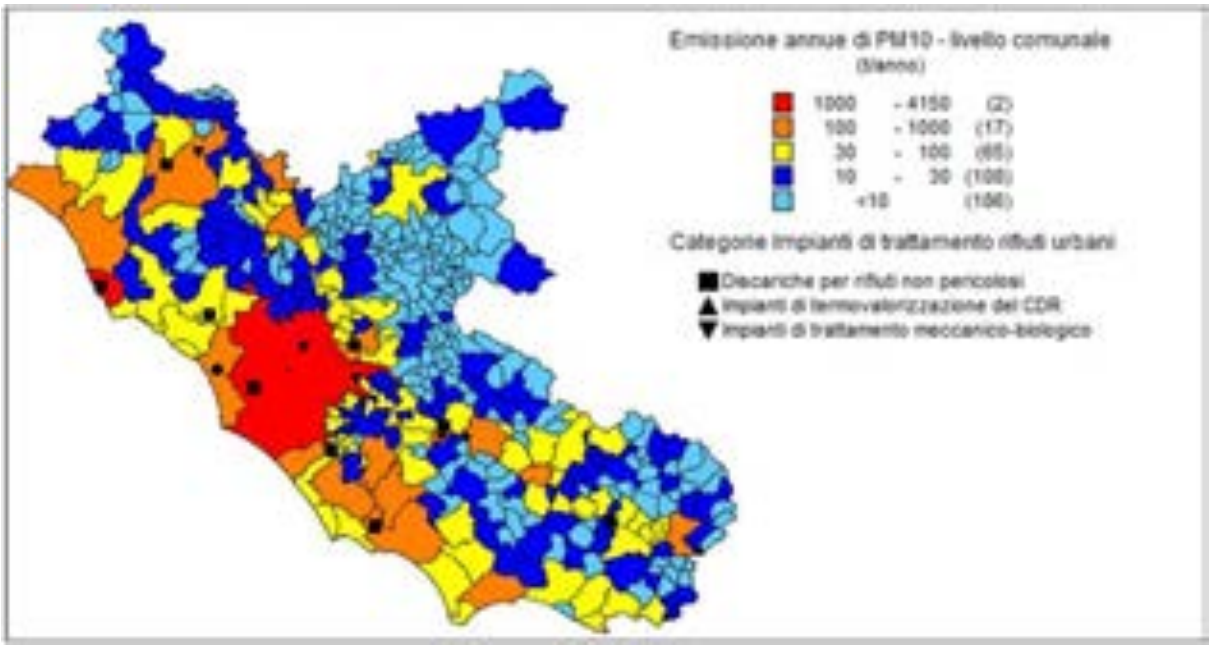


Figura 4.2. Stima emissioni PM_{10}

Acque Reflue urbane e industriali

La stima del carico inquinante delle acque reflue urbane dovuto alle sostanze biodegradabili prodotte dalle attività domestiche ed economiche nel 2008 è riportato nella tabella seguente.

Comuni	Popolazione residente nel 2008	Popolazione presente non residente	Popolazione in case sparse	Lavoratori e studenti pendolari	Posti letto alberghi, campeggi e alloggi per turisti	Abitanti in seconde case (non destinate a turisti)	Ristoranti e bar	Micro industria	Piccola, media e grande industria	Abitanti equivalenti totali urbani (Aetu)	Abitanti equivalenti totali (Aet)
Cassino	32.962,0	1.252	-4.289	3.990	1.812	3.425	8.907,83	2.493,358	28.131,77	50.553,19	78.684,96
Cervaro	7.186,5	132	-1.494	-525	19	1.823	742,39	1.354,107	291,16	9.238,00	9.529,16
San Vittore del Lazio	2.724,5	61	-662	-103	0	470	433,50	963,455	689,68	3.887,46	4.577,14
Artena	13.384	196	0	-658	191	1.926	1.223	604	1.958	16.866	18.824
Colleferro	21.964	578	-41	699	75	1.500	4.609	2.005	6.844	31.388	38.232
Genazzano	5.902	145	-564	-255	116	1.334	851	270	44	7.799	7.843
Paliano	8.179	212	-1.645	-208	44	1.966	1.346	1.139	9.640	11.032	20.672
Segni	9.362	231	-1.617	-596	207	2.683	788	1.121	994	12.180	13.174
Valmontone	14.655	241	-673	-654	23	1.390	2.854	1.159	893	18.994	19.887
Roma	2.721558	148.840	-26.657	52.792	127.820	217.637	881577	140562	1.281723	4.264.128	5.545.851
Totale	**2.837876**	**151.888**	**-37.642**	**54.482**	**130.307**	**234.154**	**903.332**	**151.669**	**1.331.208**	**4.426.065**	**5.757.274**
Totale Lazio	**5 593 864**	**229 786**	**-318 765**	**2 596**	**266 749**	**948 845**	**1 458 908**	**492 809**	**3 857 201**	**8 674 792**	**12 531 993**

Tabella 4.28. (fonte: Stime del carico inquinante delle acque reflue urbane, 2010, ISTAT)

Naturalmente il carico inquinante "potenziale" è poi soggetto in generale a sistemi di trattamento quali depuratori, depuratori industriali e altri sistemi in grado di ridurre l'impatto complessivo sul territorio.

Rifiuti

La produzione di rifiuti urbani può essere stimata utilizzando il dato regionale 2007 di produzione pro capite di rifiuti urbani (604 kg/abitante*anno). In base a tale calcolo, si registra nell'area interessata dai termovalorizzatori, una produzione di rifiuti urbani, pari a 1.714.078 tonnellate all'anno.

Codici	COMUNE	Popolazione residente nel 2008	Produzione rifiuti urbani [t]
T1	Cassino	32.962	19.909
	Cervaro	7.187	4.341
	San Vittore nel Lazio	2.725	1.646
T2	Artena	13.384	8.084
	Colleferro	21.964	13.266
	Genazzano	5.902	3.565
	Paliano	8.179	4.940
	Segni	9.362	5.655
	Valmontone	14.655	8.851
T3	Roma	2.721.558	1.643.821
Totale		2.837.878	1.714.078

Tabella 4.29. Produzione dei rifiuti nei comuni in osservazione (Fonte: ISTAT, Rapporto rifiuti 2008, ISPRA)

4.3.4 Trattamento Meccanico Biologico

Nel territorio ospitante gli impianti di trattamento meccanico e biologico dei rifiuti urbani, le attività economiche che vedono impegnate il maggior numero di addetti sono quelle di tipo immobiliare, noleggio, informatica, ricerca e servizi alle imprese nella città di Roma e l'attività manifatturiera nei restanti comuni.

Nella tabella successiva si elencano, in ordine decrescente rispetto al numero di addetti nei comuni in osservazione, la tipologia di attività presente nell'area in esame e per un confronto immediato sono stati anche calcolati, per ogni tipo di attività, il numero di addetti nel solo comune di Roma e quelli nell'intera regione Lazio.

Tipologia attività	Numero addetti solo a Roma	Numero addetti nei comuni in osservazione	Numero addetti nella regione Lazio
Attività immobiliari, noleggio, informatica, ricerca, servizi alle imprese	142 354	152 849	174 068
Amministrazione pubblica	121 777	126 002	153 187
Trasporti magazzinaggio e comunicazioni	97 869	104 144	146 611
Commercio all'ingrosso e al dettaglio, riparazione di autoveicoli, motocicli e di beni personali per la casa	82 400	91 005	130 589
Sanità e assistenza sociale	74 848	80 541	113 651
Attività manifatturiere	50 998	76 954	161 141
Istruzione	66 002	72 491	128 002
Altri servizi pubblici, sociali e personali	62 054	64 479	74 997
Attività finanziarie	52 303	54 100	63 896
Costruzioni	41 869	45 839	73 589
Alberghi e ristoranti	39 938	41 892	54 358
Produzione e distribuzione di energia elettrica, gas e acqua	8 496	8 928	12 855
Agricoltura, caccia e silvicoltura	972	1 041	1 909
Estrazione di minerali	786	887	2 152
Pesca, piscicultura e servizi connessi	67	111	761
Totale	**842 733**	**921 263**	**1 291 766**

Tabella 4.30. Tipo di attività e rispettivo numero di addetti nei comuni in osservazione (fonte ISTAT, Censimento industria e servizi 2001 Classificazione delle attività economiche Ateco2007)

Nel territorio ospitante gli impianti TMB ci sono 28 impianti industriali soggetti ad Autorizzazione Integrata Ambientale (ai sensi del D.Lgs 152/2006 succ. mod e int) dei

quali 16 nel comune di Roma. Di seguito si elencano il numero, la categoria e, in funzione di quest'ultima, la ragione sociale e il comune della sede di ogni singolo impianto.

Numero Impianti	Categoria
5	Attività energetiche
7	Produzione e trasformazione dei metalli
2	Industria dei prodotti minerali
5	Industria chimica
10	Altre attività

Tabella 4.31. Numero di impianti industriali per categoria di appartenenza

Comune	Ragione Sociale	Attività energetiche
Roma	Aceaelectrabel Montemartini	centrali elettriche
Roma	Raffineria di Roma	raffineria
Roma	Secosvim	centrali elettriche
Roma	Termica Colleferro	centrali elettriche
Roma	Aceaelectrabel Produzione Tor di Valle	centrali elettriche

Tabella 4.32. Elenco degli impianti di produzione elettrica

Comune	Ragione Sociale	Produzione e trasformazione dei metalli
Aprilia	Centro Laminati	trasformazione dei metalli non ferrosi
Roma	Galvanica Bruni	trattamento in superficie dei metalli
Roma	Galvanica Italia	trattamento in superficie dei metalli
Albano laziale	Galvanica romana	trattamento in superficie dei metalli
Roma	Ossidal sistemi	trattamento in superficie dei metalli
Roma	Romazinc	trasformazione dei metalli ferrosi
Roma	Trattamenti galvanici industriali	trattamento in superficie dei metalli

Tabella 4.33. Elenco degli impianti di produzione e trasformazione dei metalli

Comune	Ragione Sociale	Industria dei prodotti minerali
Aprilia	OI-Manufacturing Italy	fabbricazione vetro
Roma	Fornaci	fabbricazione prodotti ceramici

Tabella 4.34. Elenco degli impianti di industria dei prodotti minerali

Comune	Ragione Sociale	Industria chimica
Aprilia	Abbott	impianto per la fabbricazione prodotti farmaceutici
Aprilia	Acraf	impianto per la fabbricazione prodotti farmaceutici
Aprilia	Recordati	impianto per la fabbricazione prodotti farmaceutici
Pomezia	Menarini	impianto per la fabbricazione prodotti farmaceutici
Pomezia	Procter & Gamble	impianto per la fabbricazione prodotti farmaceutici

Tabella 4.35. Elenco degli impianti di industria chimica

Comune	Ragione Sociale	Altre attività
Aprilia	Crown Italprint	trattamento in superficie di materie
Aprilia	Ilsap	Impianti per l'eliminazione di carcasse
Aprilia	Kraft Foods Italia	industria alimentare
Roma	Birra peroni	industria alimentare
Roma	Centrale del latte	trasformazione del latte
Roma	Centro carni di roma	macello
Ariccia	Centro grassi Ariccia	Impianti per l'eliminazione di carcasse
Pomezia	Mida	Impianti per l'eliminazione di carcasse
Roma	Romana macinazione	industria alimentare
Roma	Tor Cervara alimentare	macello

Tabella 4.36. Elenco degli impianti industriali con le rispettive attività e ragione sociale

Stima delle emissioni di inquinanti atmosferici

Le principali sorgenti di emissione in atmosfera presenti nell'area sono costituite

- dagli impianti sopra elencati;
- dalle grandi infrastrutture di trasporto presenti nell'area;

- dalle emissioni diffuse all'interno dei confini amministrativi dei comuni presenti nell'area in esame.

Nell'ambito del piano di risanamento della qualità dell'aria, approvato con Delibera del Consiglio Regionale n.66 del 10 dicembre 2009 (pubblicato sul supplemento ordinario del BUR n.11 del 20 marzo 2010) la Regione Lazio si è avvalsa di una articolata stima delle emissioni di sostanze inquinanti a livello comunale per le diverse tipologie di sorgenti (industria, traffico, ecc.).

Nella tabella successiva sono riportate le emissioni stimate a livello annuo (t/anno) per l'area di indagine e quelle relative all'intera provincia e regione al fine di consentire un agevole confronto relativo alla "potenziale" criticità dell'area.

CODICE	**COMUNI**	**Inquinante [t/anno]**					
		CO	**NH_3**	**NMHC**	**NO_X**	**PM_{10}**	**SO_2**
TMB1	Arce, Colfelice, Pontecorvo, Roccasecca e San Giovanni Incarico.	3.181	239	710	1.100	176	128
TMB2	Albano Laziale, Aprilia, Ardea, Ariccia, Pomezia e Roma	107.221	2.724	31.659	27.337	4.636	5.069
TMB3	Viterbo e Vitorchiano	2.487	761	1.421	946	207	40
TMB5	Monte Compatri e Roma	98.555	1.880	27.076	24.736	4.214	4.587
TMB4 TMB6 TMB7	Roma	96.984	1.846	26.688	24.322	4.149	4.555
Totale comuni		**114.460**	**3.758**	**34.178**	**29.797**	**5.084**	**5.269**
Provincia Viterbo		*19652*	*3469*	*6990*	*12232*	*1933*	*9630*
Provincia di Frosinone		*34234*	*3015*	*12429*	*12624*	*1854*	*695*
Provincia di Latina		*33278*	*3744*	*16394*	*6778*	*1508*	*475*
Provincia di Roma		*181122*	*5317*	*53349*	*55629*	*8103*	*13082*
Regione Lazio		*275121*	*17163*	*94062*	*89292*	*13873*	*23938*

Tabella 4.37. Stima delle emissioni annue di inquinanti atmosferici

Acque Reflue urbane e industriali

La stima del carico inquinante delle acque reflue urbane dovuto alle sostanze biodegradabili prodotte dalle attività domestiche ed economiche nel 2008 è riportato nella tabella seguente.

Comuni	Popolazione residente nel 2008	Popolazione presente non residente	Popolazione in case sparse	Lavoratori e studenti pendolari	Posti letto alberghi, campeggi e alloggi per turisti	Abitanti in seconde case (non destinate a turisti)	Ristoranti e bar	Micro industria	Piccola, media e grande industria	Abitanti equivalenti totali urbani (Aetu)	Abitanti equivalenti totali (Aet)
Albano Laziale	38 992	992	-299	-985	475	3 653	5 179	3 388	10 433	51 395	61 827
Aprilia	67 606	1 655	-1 903	-1 040	249	9 897	11 922	8 763	338 431	97 148	435 579
Arce	5 941	122	-1 332	-346	23	1 580	697	293	3 133	6 978	10 111
Ardea	40 124	1 017	-944	-1 922	6 595	40 144	4 617	2 919	24 107	92 549	116 656
Ariccia	18 183	620	-171	-216	273	1 812	3 289	4 401	24 919	28 191	53 110
Colfelice	1 839	39	-563	-75	0	362	126	118	46 884	1 846	48 730
Monte Compatri	9 918	262	-515	-571	361	1 174	1 763	1 896	3 589	14 288	17 877
Pomezia	57 363	1 291	-4 433	4 218	2 931	24 326	20 601	9 245	448 928	115 543	564 471
Pontecorvo	13 265	45	-4 984	-349	0	1 815	1 064	307	858	11 163	12 021
Roccasecca	7 594	168	-3 644	-165	13	1 065	1 340	823	933	7 194	8 127
Roma	2 721 558	148 840	-26 657	52 792	127 820	217 637	881 577	140 562	1 281 723	4 264 128	5 545 851
San Giovanni Incarico	3 440	42	-1 159	-212	0	566	449	140	554	3 266	3 820
Viterbo	61 754	3 025	-7 780	3 562	1 855	10 242	19 815	18 630	19 971	111 103	131 075
Vitorchiano	4 454	76	-527	-240	210	832	656	1 299	2 869	6 760	9 628
Totale	**3 052 028**	**158 194**	**-54 911**	**54 451**	**140 805**	**315 105**	**953 095**	**192 785**	**2 207 332**	**4 811 552**	**7 018 884**
Totale Lazio	**5 593 864**	**229 786**	**-318 765**	**2 596**	**266 749**	**948 845**	**1 458 908**	**492 809**	**3 857 201**	**8 674 792**	**12 531 993**

Tabella 4.38. (fonte: Stime del carico inquinante delle acque reflue urbane, 2010, ISTAT)

Naturalmente il carico inquinante "potenziale" è poi soggetto in generale a sistemi di trattamento quali depuratori, depuratori industriali e altri sistemi in grado di ridurre l'impatto complessivo sul territorio.

Rifiuti

La produzione di rifiuti urbani può essere stimata utilizzando il dato regionale 2007 di produzione pro capite di rifiuti urbani (604 kg/ab.*anno). In base a tale calcolo, si registra nell'area interessata dai TMB, una produzione di rifiuti urbani, pari a 1.843.425 tonnellate all'anno.

Codice	Comune	Popolazione residente nel 2008	Produzione rifiuti urbani [t]
TMB1	Arce	5 941	3 588
	Colfelice	1 839	1 110
	Pontecorvo	13 265	8 012
	Roccasecca	7 594	4 587
	San Giovanni Incarico	3 440	2 078
TMB2	Albano Laziale	38 992	23 551
	Aprilia	67 606	40 834
	Ardea	40 124	24 235
	Ariccia	18 183	10 983
	Pomezia	57 363	34 647
	Roma	2 721 558	1 643 821
TMB3	Viterbo	61 754	37 299
	Vitorchiano	4 454	2 690
TMB5	Monte Compatri	9 918	5 990
	Roma	2 721 558	1 643 821
TMB4 TMB6 TMB7	Roma	2 721 558	1 643 821
Totale comuni		**3 052 031**	**1 843 425**

Tabella 4.39. Produzione dei rifiuti nei comuni in osservazione (Fonte: ISTAT, Rapporto rifiuti 2008, ISPRA)

5 Controlli e monitoraggi ambientali

Gli impianti oggetto del programma ERAS sono assoggettati alla disciplina IPPC e svolgono quindi la loro attività sulla base dell'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA).

La maggior parte di tali impianti esercitava la propria attività già nel periodo precedente all'entrata in vigore della disciplina AIA, in forza di specifiche autorizzazioni settoriali. Tali autorizzazioni contenevano prescrizioni cui gli impianti dovevano attenersi nello svolgimento delle loro attività, in particolare riguardanti i limiti alle emissioni prodotte, e ARPA Lazio svolgeva un'attività di controllo del rispetto delle suddette prescrizioni.

Le nuove autorizzazioni rilasciate in accordo alla normativa AIA introducono invece disposizioni molto più specifiche e dettagliate relativamente alla gestione e al controllo dell'impianto. Il gestore diventa un attore fondamentale di questo processo poiché diventa il primo soggetto cui è attribuito l'onere di controllare il rispetto delle condizioni di esercizio dell'impianto, mentre ad ARPA Lazio compete la verifica della regolarità dei controlli a carico del gestore e lo svolgimento di verifiche ispettive che sono prerogativa dell'ente di controllo.

Pertanto per ciascuna delle autorizzazioni AIA rilasciate nella Regione Lazio è previsto il controllo da parte di ARPA Lazio, tale controllo è programmato con cadenza annuale, e prevede una ispezione presso l'impianto e relative attività di campionamento e analisi. Le risultanze di tale attività confluiscono alla fine in una relazione che l'Agenzia trasmette all'Autorità competente che ha rilasciato il provvedimento autorizzativo.

È evidente quindi come le attività di controllo effettuate siano molto più articolate e complesse di quelle previste in forza delle precedenti autorizzazioni di settore.

Le relazioni conclusive delle attività, a seguito della innovazione introdotta dalla disciplina AIA, forniscono probabilmente il primo rendiconto complessivo e unitario che descrive la gestione ambientale degli impianti autorizzati e i relativi impatti.

Tenuto conto del ritardo nel recepimento in Italia della normativa europea, dei complessi iter istruttori che hanno coinvolto le diverse amministrazioni nel rilascio delle autorizzazioni integrate ambientali e del tempo che è stato necessario agli impianti per adeguarsi alla nuova disciplina, si può affermare che la maggioranza degli impianti ricadenti nella disciplina AIA è entrato a regime a partire dal 2009.

Gli impianti di gestione dei rifiuti urbani oggetto dello studio, dal 2009 ad oggi, sono stati oggetto almeno di una verifica ispettiva.

5.1 Discariche

Le attività di controllo di una discarica prevedono la verifica delle modalità di gestione dei rifiuti ricevuti, il monitoraggio delle emissioni prodotte nell'ambiente e dei consumi di risorse naturali conseguenti all'esercizio dell'impianto.
In relazione al primo aspetto sono effettuate verifiche periodiche delle caratteristiche dei rifiuti ammessi in discarica, in accordo al Decreto 3 agosto 2005 che definisce i criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica; in tale ambito sono monitorate anche le quantità di rifiuti gestiti, che devono essere coerenti con la potenzialità di trattamento della discarica.

L'impatto ambientale dovuto alle attività di gestione è tenuto sotto controllo attraverso il monitoraggio delle emissioni prodotte dalla discarica.
Un primo tipo di emissioni riguarda quelle in atmosfera. Esse si originano in seguito ai processi di degradazione microbica, in assenza d'aria, cui è soggetto il materiale organico di cui sono costituiti i rifiuti: il prodotto finale di tale fenomeno è un gas, denominato biogas. Per una corretta gestione della discarica il biogas deve essere costantemente allontanato dal corpo dei rifiuti mediante captazione e la sua successiva gestione avviene in un impianto di combustione appositamente dedicato che consente anche il recupero di energia dal calore prodotto nella combustione. In tale processo sono monitorate le caratteristiche qualitative del biogas con analisi di appropriati parametri chimico fisici al fine di verificarne l'idoneità alla successiva combustione; parallelamente viene effettuata un'attività di controllo delle emissioni prodotte dall'impianto di combustione del biogas, mediante campionamento degli effluenti gassosi e analisi di molteplici parametri, tra cui polveri e ossidi di azoto, per verificarne la conformità ai limiti previsti dall'autorizzazione.
Un altro contaminante monitorato in una discarica è il cosiddetto percolato, refluo liquido che si origina in seguito alla infiltrazione di acqua nella massa dei rifiuti e alla loro decomposizione: il percolato è analizzato attraverso la determinazione di numerosi parametri chimico fisici al fine di tenerne sotto controllo le caratteristiche qualitative per garantire una gestione appropriata.
Nella gestione di una discarica si originano anche acque reflue, in particolare le acque di dilavamento dei piazzali e quelle di copertura della discarica, che devono essere opportunamente trattate prima di essere di recapitate nel corpo recettore; tali acque sono sottoposte a controllo analitico prima di essere scaricate.

Particolare attenzione è poi rivolta al monitoraggio delle caratteristiche qualitative delle acque di falda sottostanti la discarica: a tal fine ogni discarica è dotata di numerosi piezometri, cioè pozzi dai quali è possibile emungere le acque di falda per il loro controllo. In tali circostanze per ogni campione di acqua esaminato sono effettuate analisi di numerosi parametri inorganici, tra cui i metalli, ed organici, quali solventi, pesticidi IPA e PCB.

In relazione all'impatto acustico viene verificato che le operazioni all'interno della discarica avvengano nel rispetto dei limiti di accettabilità del rumore, mediante l'esecuzione di campagne di misurazione effettuate presso la discarica e nelle sue immediate vicinanze.

Da ultimo è tenuto sotto controllo l'impatto sulle risorse naturali causato dal funzionamento dell'impianto di discarica nel suo complesso, monitorando i consumi di materie prime e ausiliarie, di risorse idriche, di energia elettrica e termica e di combustibili e verificando che tali consumi siano coerenti con le necessità operative.

5.2 Area complessa di Malagrotta

L'area complessa di Malagrotta è caratterizzato da un'elevata presenza di impianti industriali, quali la raffineria di Roma, il gassificatore, l'impianto di incenerimento dei rifiuti ospedalieri dell'AMA, il "complesso impiantistico di Malagrotta" che 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 e cave per l'estrazione di materiali da costruzione.
Per quanto riguarda gli impianti di gestione dei rifiuti le attività di controllo e monitoraggio della discarica sono state descritte nel paragrafo precedente, mentre per quanto riguarda il termovalorizzatore e gli impianti di trattamento meccanico biologico, vengono descritte nei paragrafi seguenti.

5.3 Termovalorizzatori

Questa tipologia di impianti richiedono un controllo particolarmente importante per ciò che riguarda le emissioni in atmosfera: tali impianti infatti sono deputati alla combustione della frazione secca a più alto potere calorifico costituita dal combustibile da rifiuti (CDR) ottenuta dal trattamento mediante separazione e vagliatura del rifiuto urbano indifferenziato.
Tali impianti sono pertanto dotati di particolari sistemi, denominati SMCE, in grado di misurare e registrare in continuo nell'effluente gassoso emesso le concentrazioni di numerose sostanze, quali CO, NO_x, SO_2, polveri totali, TOC, HCl e HF.
In ogni caso anche su tali impianti l'attività di controllo parte dalla verifica del ciclo tecnologico e sulla congruità del CDR ricevuto presso l'impianto ai fini della sua successiva combustione: a tal fine sono verificate le caratteristiche qualitative del CDR. Nel processo di combustione sono poi monitorati in continuo i parametri sopra citati, ma sono comunque svolti regolari campionamenti dell'effluente gassoso per verificare puntualmente l'efficacia dei sistemi di abbattimento adottati. A tal fine sono monitorati numerosi parametri come polveri, acidi, composti organici volatili, ossidi, metalli, IPA, diossine.

Particolare attenzione è poi rivolta al controllo della gestione dei rifiuti prodotti nel corso dell'attività: ci si riferisce in particolare ai residui di combustione, nonché a quelli derivanti dal sistema di trattamento delle acque reflue. L'organo di controllo accerta che tali rifiuti siano gestiti in conformità alla normativa.
La gestione delle acque di processo costituisce un altro aspetto critico dal punto di vista ambientale, pertanto sono previsti all'interno dello stabilimento numerosi punti di controllo delle acque reflue provenienti dall'impianto di depurazione a servizio dello stabilimento prima della loro immissione nel corpo recettore. Per verificarne la conformità normativa per ogni campione di acqua reflua sono effettuate numerose determinazioni analitiche di parametri chimici, che tengono conto dei potenziali contaminanti connessi con l'attività realizzata presso il termovalorizzatore.
Anche le acque di falda sono interessate dalla attività di controllo mediante regolari campionamenti finalizzati a verificare che le acque sotterranee non siano interessate da fenomeni di contaminazione.

Campagne di misura dell'impatto acustico causato dall'esercizio dell'impianto sono inoltre condotte con regolarità al fine di verificare che le emissioni sonore siano

conformi ai limite di legge, individuando specifici possibili recettori adiacenti l'area dello stabilimento.
Come per gli impianti di discarica anche per i termovalorizzatori è tenuto sotto controllo l'impatto sulle risorse naturali causato dal funzionamento dell'impianto nel suo complesso, monitorando i consumi di materie prime e ausiliarie, di risorse idriche, di energia elettrica e termica e di combustibili e verificando che tali consumi siano coerenti con le necessità operative.

5.4 Trattamento meccanico biologico

In relazione a questa tipologia di impianto le attività di controllo effettuate si concentrano prima di tutto sulla verifica della conformità del ciclo di gestione dei rifiuti all'interno dello stabilimento a quanto previsto dall'autorizzazione. A tal fine sono monitorate le linee tecnologiche di trattamento che a partire dal rifiuto urbano indifferenziato prevedono la separazione dal rifiuto della frazione secca a più alto potere calorifico e la trasformazione della stessa in combustibile da rifiuti (CDR) da utilizzare in impianti di valorizzazione energetica autorizzati, il recupero dei materiali metallici e non metallici, e il trattamento aerobico con conseguente riduzione volumetrica della restante frazione organica, finalizzato alla produzione di una matrice organica stabilizzata (FOS). A tal fine è prestata particolare attenzione ai quantitativi dei vari materiali prodotti che devono essere coerenti con le finalità dell'impianto che per tipologia di attività costituisce un tassello significativo all'interno del quadro complessivo del ciclo di gestione di rifiuti urbani. Contestualmente sono verificate anche le caratteristiche qualitative di tali materiali. Per esempio in relazione al CDR prodotto deve essere garantito che la sua composizione rispetti i limiti previsti dalla normativa vigente e pertanto sono viene sottoposto a determinazioni analitiche per il controllo di numerosi parametri chimici. Tale attività è inoltre finalizzata alla verifica della idoneità del CDR prodotto nell'impianto di trattamento meccanico biologico ad essere utilizzato nel successivo impianto di valorizzazione energetica.

Discorso analogo riguarda il controllo della frazione organica stabilizzata prodotta, finalizzato alla verifica che il successivo destino di tale materiale sia coerente con quanto autorizzato e con le proprie caratteristiche qualitative.
Tale tipologia di impianto, per propria natura, richiede un attento monitoraggio delle emissioni in atmosfera prodotte, con particolare riguardo alle caratteristiche olfattive

di tali emissioni: i processi di degradazione subiti dai rifiuti nel corso del loro trattamento determina la produzione di sostanze odorigene (acidi grassi volatili, ammine, ammoniaca, composti gassosi organici ed inorganici, ecc.) che possono creare criticità nelle immediate adiacenze di detti impianti. A tal fine sono costantemente monitorati le emissioni prodotte dopo l'apposito trattamento cui sono sottoposti gli effluenti gassosi emessi, tramite attività di campionamento e analisi di numerosi parametri quali polveri, acidi organici, mercaptani, ammine, sostanze organiche volatili e odori, in relazione ai limiti previsti dalla legge.

Particolare attenzione è poi riservata alla gestione delle acque reflue prodotte, derivanti principalmente dalle acque meteoriche dei piazzali e dei tetti, e dalle acque di prima pioggia, che una volta convogliate sono opportunamente trattate. Prima del recapito di tali acque reflue nel corpo recettore sono controllate le relative caratteristiche chimiche al fine del rispetto della normativa prevista.
Il controllo della qualità delle acque sotterranee e la verifica del rispetto delle emissioni acustiche contribuiscono a definire il quadro delle attività di controllo dell'impianto.

6 Emissioni in aria prodotte dagli impianti

Al fine di migliorare la conoscenza degli impatti ambientali connessi alla gestione dei rifiuti urbani e di supportare le valutazioni metodologiche è stata effettuata un'analisi delle emissioni in aria generate dagli impianti oggetto dello studio comparativamente con la valutazione delle emissioni in aria prodotte dal complesso delle attività antropiche. Il periodo di analisi considerato è dal 1996 al 2008 in coerenza con le ipotesi complessive dello studio mentre le aree del territorio sono state selezionate sulla base di un raggio di 3 km attorno agli impianti di trattamento rifiuti urbani. Tale selezione è funzionale a valutare gli scenari di pressione antropica e di emissione di sostanze inquinanti nel territorio di potenziale impatto degli impianti.

Gli inquinanti atmosferici presi in considerazione sono costituiti da particolato, ossidi di azoto, ossidi di zolfo, monossido di carbonio, composti organici volatili, e da alcuni microinquinanti (metalli, idrocarburi policiclici aromatici, …).

I dati utilizzati per la stima delle emissioni delle aree interessate dagli impianti e per valutare il contributo degli impianti rispetto al quadro complessivo, sono costituiti principalmente dall'inventario nazionale delle emissioni dell'ISPRA e dall'inventario delle emissioni della Regione Lazio. L'inventario ISPRA raccoglie i dati delle emissioni in aria dei gas-serra, delle sostanze acidificanti ed eutrofizzanti, dei precursori dell'ozono troposferico, del benzene, del particolato, dei metalli pesanti, degli idrocarburi policiclici aromatici, delle diossine e dei furani. Le emissioni provenienti da oltre 300 attività antropiche e biogeniche vengono stimate secondo la metodologia CORINAIR definita dall'Agenzia Europea per l'ambiente.
(http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR5).

I valori delle emissioni che sono stati utilizzati per l'analisi delle pressioni sono il valore medio registrato nel periodo 1995-2008. Tale dato infatti supporta la stima dell'esposizione media della popolazione interessata nel periodo di riferimento ed è quindi coerente con le finalità epidemiologiche dello studio.
Il quadro di riferimento del ciclo di smaltimento dei rifiuti urbani è necessario per una corretta e completa valutazione dei diversi fattori che concorrono a produrre pressione ambientale nelle aree di studio. Tali informazioni sono state derivate dall'analisi degli atti autorizzativi degli impianti, dal Rapporto dei Rifiuti Urbani prodotti dall'ISPRA negli

anni 2001-2009 e dalla documentazione tecnica associata al piano rifiuti della regione Lazio.

La produzione dei rifiuti urbani nel periodo 1999-2009, rappresentata nel grafico che segue, evidenzia un andamento privo di picchi con un leggero trend di crescita. Si può notare come la provincia di Roma rappresenti, da sola, la parte più rilevante della produzione dei rifiuti della regione.

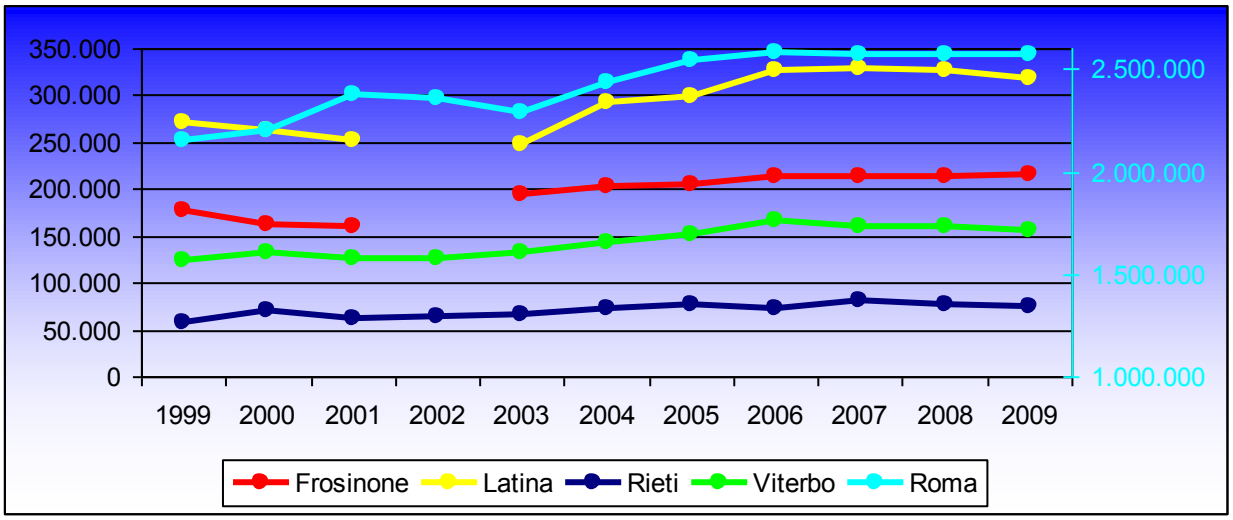


Grafico 6.1. Andamento produzione dei rifiuti Urbani nel Lazio. Dati ISPRA; La curva relativa alla provincia di Roma è riferita all'asse di destra.

Nel periodo di riferimento, che va dal 1999 al 2009, sono stati prodotti complessivamente, all'interno della regione Lazio, circa 34.000.000 ton di rifiuti urbani dei quali circa 6.500.000 t sono state trattati negli impianti di trattamento meccanico biologico, 1.400.000 t circa sono state sottoposte a termovalorizzazione e 29.000.000 t circa sono state conferite in discarica. Il valore medio smaltito e trattato di rifiuti urbani nell'arco del decennio è pari a circa:

Tipologia impianto	Valore medio rifiuti trattati /smaltiti [t/anno]
TMB	657.418
Discariche	2.938.401
Termovalorizzatori	145.342

Tabella 6.1. Rifiuti trattati per tipologia di impianto

Lo studio epidemiologico si riferisce ad un periodo temporale leggermente più ampio (anni 1996-2008); si può ragionevolmente ipotizzare che negli anni 1996, 1997 siano stati smaltiti/trattati quantità di rifiuti del tutto paragonabili al valore medio annuo riportato nella tabella precedente.

6.1 Discariche

Le nove discariche per rifiuti urbani considerate nello studio smaltiscono ogni anno una quantità di rifiuti pari a circa 3.000.000 di tonnellate di rifiuti urbani. Di questi, circa la metà, finiscono nel solo complesso di Malagrotta.

L'impatto che una discarica per rifiuti urbani ha rispetto ai diversi comparti ambientali dipende dalla quantità di rifiuti trattata, dalle modalità costruttive e di gestione e dall'eventuale presenta di impianti connessi per la produzione di energia.

Le emissioni in aria dipendono principalmente dalla degradazione della materia organica presente (processo che produce essenzialmente metano, acido solfidrico e anidride carbonica, oltre a tracce di altri composti) e dalla combustione degli eventuali motori presenti per la produzione di energia.

I dati utilizzati per la stima delle emissioni delle discariche derivano da varie fonti: le autorizzazioni integrate ambientali (AIA) e quelle precedenti alla normativa AIA, i risultati dei monitoraggi eseguiti dai gestori, le attività di controllo effettuate dall'Agenzia, dai Rapporti dei Rifiuti dell'ISPRA e dai dati del Piano regionale dei rifiuti.

Le discariche hanno due principali categorie di emissioni in aria: le emissioni convogliate e quelle diffuse. Le prime sono generate dalla combustione all'interno di motori o turbine, utilizzati per il recupero energetico. In questi impianti viene bruciato il biogas captato dalla discarica. La parte di biogas che non viene captata si diffonde naturalmente in atmosfera attraverso la superficie della discarica e questa frazione, che può essere più o meno grande, insieme agli altri sottoprodotti della degradazione organica anaerobica (H_2S, odori, VOC ecc), rappresenta l'emissione di tipo diffuso.

La stima dei due tipi diversi di emissioni ha seguito due metodi differenti. Le emissioni di tipo diffuso sono state stimate in collaborazione con ARPA Emilia Romagna, attraverso un modello di calcolo denominato GasSim, sviluppato dalla Golder Associates per l'EA (Environment Agency, England and Wales, UK), in grado di stimare le emissioni convogliate e diffuse di un sistema di discariche.

Le emissioni convogliate sono invece state stimate a partire dai dati forniti dagli stessi gestori, dalle autorizzazioni e dalle schede tecniche elaborate dalla Regione Lazio, in funzione delle potenzialità dei vari impianti. In particolare, il valore di emissione degli

ossidi di azoto è stato stimato per l'anno 2008 dai valori di potenza dichiarati nelle schede tecniche della Regione Lazio e dalle potenze nominali dichiarate dei motori installati.

La scelta di utilizzare i valori massimi di emissione stabiliti dall'autorizzazione rappresenta una sovrastima delle reali emissioni, ma tenuto conto della finalità epidemiologica dello studio si è ritenuto di seguire questa strada in virtù del principio di precauzione.

E' opportuno evidenziare che gli inquinanti considerati (ad esempio gli NO_x) spesso non sono prodotti univocamente dagli impianti di trattamento dei rifiuti, ma anche da altre sorgenti presenti a distanza più o meno vicina dalla discarica.

Inoltre bisogna tenere presente che tali composti non rimangono fermi nel punto di emissione, ma si disperdono su aree che possono risultare molto ampie per via dei fenomeni di diffusione atmosferica che possono determinare, alla luce delle diverse caratteristiche orografiche, situazioni di accumulo e/o stagnazione degli inquinanti.

Inoltre la permanenza in atmosfera di un dato inquinante dipende sia dalle sue caratteristiche chimico-fisiche, sia dalle particolari condizioni atmosferiche in cui si viene a trovare. Infatti, le precipitazioni tendono a rimuovere dall'atmosfera polveri e particelle (solide o liquide) di varia natura, insieme a alcuni gas , come ad esempio avviene nei confronti della CO_2, degli SO_x e del PM_{10}.

Oltre il dilavamento atmosferico, possono avvenire reazioni fotolitiche o di ossidoriduzione che eliminano o modificano i vari contaminanti. Tipico è l'esempio del metano che viene ossidato ad anidride carbonica.

Le precedenti considerazioni evidenziano la necessità di considerare il contesto territoriale in cui è inserito l'impianto ai fini di una efficace valutazione.

Per questo motivo vengono illustrati di seguito anche i dati di emissioni relativi ai diversi contesti territoriali. I dati derivano dall'inventario delle emissioni ISPRA il cui data base informativo prevede diverse scale territoriali (nazionale, regionale, provinciale e comunale) e per il periodo dal 1990 al 2009 una serie storica annuale

per il livello nazionale, quinquennale per il livello provinciale e riferita al solo anno 2005 per il livello comunale.

Nello studio è stato considerato principalmente il valor medio annuale, come detto, rappresentativo del carico complessivo di inquinante su uno specifico territorio.

In questo ambito di approssimazione si osserva che, la differenza tra il valore dell'emissione regionale media (decennale) e il corrispondente valore relativo al solo 2005, pur variando da inquinante a inquinante, si attesta intorno al 20% per gli ossidi di azoto (NO_x) e il particolato fine PM_{10}.

Le emissioni di sostanze inquinanti in atmosfera stimate per la Regione Lazio, sono circa pari a l' 6-8% di quelle nazionali con particolare riferimento al PM_{10} e agli NO_x

Le emissioni regionali medie del periodo 1995-2008 generate dalle diverse attività (incluse quelle derivanti dalla gestione dei rifiuti), divise per provincia sono presentate nella tabella seguente.

Inquinante	Frosinone	Latina	Rieti	Roma	Viterbo	Lazio
Ammoniaca (t)	3.324	4.910	1.790	6.423	3.305	**19.751**
Arsenico (kg)	169	188	13	637	216	**1.222**
Benzene (t)	145	228	39	1.314	65	**1.792**
Cadmio (kg)	214	19	3	164	18	**418**
Composti organici volatili non metanici (t)	15.459	18.197	4.690	89.930	7.443	**135.719**
Cromo (kg)	553	92	13	1.996	1.031	**3.685**
Diossido di zolfo (SO_2+SO_3) (t)	1.069	1.117	159	31.105	1.901	**35.351**
Diossine e furani (g teq)	1	1	0	5	2	**8**
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) (t)	683	648	194	3.295	794	**5.615**
Mercurio (kg)	213	13	2	224	60	**511**
Monossido di carbonio (t)	33.266	41.521	10.165	297.552	23.091	**405.595**
Nichel (kg)	319	714	15	4.178	809	**6.035**
Ossidi di azoto (NO+NO2) (t)	13.100	7.822	3.602	73.455	8.765	**106.743**

Inquinante	Frosinone	Latina	Rieti	Roma	Viterbo	Lazio
Particolato (<10 micron) (t)	1.569	1.403	427	7.377	1.722	**12.498**
Particolato (<2.5 micron) (t)	1.421	1.208	356	6.707	1.503	**11.195**
Piombo (kg)	18.020	10.336	4.027	75.245	13.420	**121.049**
Rame (kg)	972	441	213	4.003	611	**6.240**
Zinco (kg)	3.787	1.122	162	5.208	647	**10.926**

Tabella 6.2. Emissioni provinciali, media anni 1995-2008

Si nota come la provincia di Roma contribuisca in modo significativamente maggiore rispetto a tutte le altre provincie. Di queste emissioni, comprensive di tutte le attività svolte nelle aree considerate, la gestione dei rifiuti ha, a livello regionale, un peso variabile in funzione del contaminante considerato: ad esempio il settore dei rifiuti conta il 0,5% del totale nei confronti degli NO_x, ma il 3,7 % considerando i PM_{10} e oltre il 60% per il metano. Una rappresentazione grafica delle emissioni, in merito alle PM_{10}, può essere visualizzata nella tavola 2 "Fattori di pressione PM_{10} emesso".

I contributi emissivi sono stati anche valutati prendendo a riferimento il territorio entro un cerchio di 3 km di raggio dal singolo impianto.

Sono state quindi definite delle aree omogenee all'interno delle quali stimare le emissioni non solo della discarica ma anche delle altre sorgenti presenti. Dal punto di vista epidemiologico la popolazione è infatti potenzialmente "esposta" alla somma degli inquinanti prodotti dalle diverse sorgenti (industrie, traffico veicolare, impianti per il riscaldamento domestico, ..).

Aree di studio	Tipo di Impianto	Codice impianto	Comuni entro i 3 km dall'impianto
01 (Malagrotta)	discarica	D1	Roma
02 (Viterbo)	discarica	D5	Viterbo, Montefiascone
03 (Albano)	discarica	D3	Albano,Aprilia, Ardea, Ariccia, Pomezia, Roma
04 (Colleferro)	discarica	D4	Colleferro, Artena, Genazzano, Paliano, Segni, Valmontone
06 (Guidonia)	discarica	D2	Guidonia, Fonte Nuova, Sant'Angelo Romano
07 (Borgo Montello)	discarica	D6	Latina

Aree di studio	Tipo di Impianto	Codice impianto	Comuni entro i 3 km dall'impianto
10 (Roccasecca)	discarica	D7	Roccasecca, Arce, Colfelice, Pontecorvo, San Giovanni Incarico
11 (Bracciano)	discarica	D8	Bracciano, Cerveteri
12 (Civitavecchia)	discarica	D9	Civitavecchia

Tabella 6.3. Aree oggetto di studio

Per confrontare i livelli di emissione di inquinanti che insistono sulle aree oggetto dello studio e quelle direttamente prodotte dalle attività di smaltimento rifiuti, sono stati utilizzati i risultati del modello GasSim, i cui parametri di input sono stati elaborati a partire dalle informazioni geometriche e quantitative derivate dalle schede tecniche degli impianti stessi.

Le emissioni medie annue delle discariche relative all'idrogeno solforato (H_2S), al metano (CH_4) ed al benzene (C_6H_6) sono rappresentate di seguito.

Impianto	H_2S [t/a]	CH_4 [t/a]	C_6H_6 [t/a]
Borgo Montello	1,7	12.601	0,3
Cecchina	0,5	2.129	0,08
Civitavecchia	0,08	348	0,01
Cupinoro	1,0	4.044	0,2
Guidonia	1,7	10.695	0,3
Le Fornaci	1,4	6.571	0,3
Malagrotta	6,3	80.857	1,2
Roccasecca	0,7	2.670	0,1
Colle Fagiolara	1,1	12.601	0,1
Totale	**14,5**	**132.516**	**2,6**

Tabella 6.4. Emissione media annua delle discariche per RSU del Lazio.

Le emissioni generate dalla discarica di Malagrotta, in considerazione della sua dimensione, sono superiori a quelle generate dagli altri impianti. Tali emissioni sono rappresentative del carico complessivo di sostanze prodotte dal deposito di rifiuti e prevalentemente di origine organica.

Relativamente alle emissioni convogliate, sulla base dei dati comunicati dai gestori, sono state stimate le potenziali emissioni convogliate derivanti dal parziale utilizzo del

biogas per produzione di energia elettrica, per una emissione complessiva di ossidi di azoto di circa 160 tonnellate. Tale valore può essere confrontato con le quantità emesse a livello provinciale e regionale, come mostrato in tabella:

Anno 2008	Discariche	Frosinone	Latina	Rieti	Roma	Viterbo	Lazio
NO_x [ton]	**160**	13.100	7.822	3.602	73.455	8.765	106.743

Tabella 6.5. Confronto emissioni tra impianti e emissioni provinciali totali riferite all'anno 2008.

Il confronto, come si nota, mostra che la quantità di ossidi di azoto emessi dalle discariche è considerevolmente inferiore ai totali emessi nelle province e nella regione.

Dalle due tabelle precedenti si vede anche come l'emissione più consistente delle discariche è rappresentata dal metano, le cui emissioni contribuiscono essenzialmente solo ai fenomeni correlati al riscaldamento climatico, mentre gli NO_x ne rappresentino una frazione minore ma rilevante nel quadro dell'inquinamento atmosferico. Ciò è coerente con la modalità di gestione di una discarica: difatti gli NO_x derivano dalla combustione all'interno di motori del metano prodotto, ai fini del recupero energetico e rappresentano una piccola parte dei prodotti di combustione.

Un discorso analogo può essere fatto per gli SO_x, che derivano essenzialmente da impurezze presenti nel flusso di alimentazione dei motori, rappresentate in questo caso prevalentemente da zolfo allo stato ridotto, H_2S.

Il confronto tra le stime delle emissioni dei diversi inquinanti nelle aree oggetto di studio, il territorio del comune di Roma e quello della regione Lazio è presentato di seguito, nel grafico e nelle tabelle seguenti.

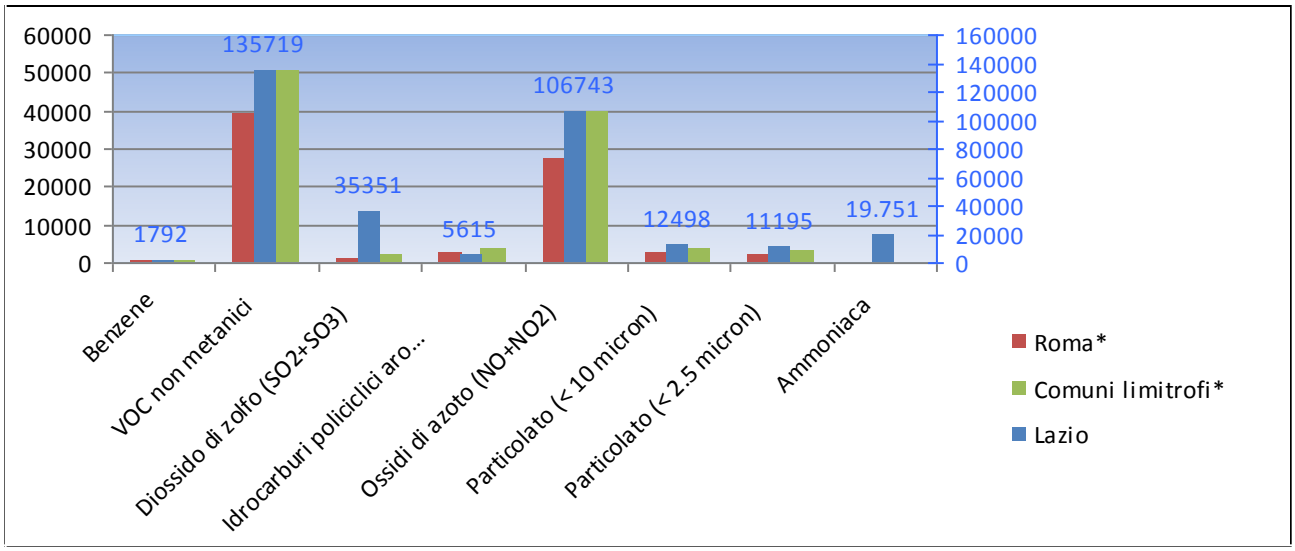


Grafico 6.1. Emissioni macroinquinanti per area, valori di emissione derivati dal dataset comunale.

Nel grafico mostrato i valori della Regione Lazio sono molto maggiori, come ovvio, rispetto ai relativi dati comunali e di Roma (comune), e sono quindi presentati sull'asse secondario a destra. I valori numerici cui si riferisce il grafico sono presentati nella tabella seguente:

Media 1995-2008 [ton]	Benzene	Composti organici volatili non metanici	Diossido di zolfo (SO_2+SO_3)	Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)
Lazio	1.792	135.719	35.351	5.615
Comune di Roma*	1.120	63.178	7.239	2.025
Comuni raggio 3 km*	1.388	80.764	14.093	2.785
Aree Impianto				

Tabella 6.6. Emissioni macroinquinanti per area *valori di emissione derivati dal dataset comunale anno 2005

Media 1995-2008 [ton]	Ossidi di azoto (NO+NO_2)	Particolato (<10 micron)	Particolato (<2.5 micron)	Ammoniaca
Lazio	106.743	12.498	11.195	19.751
Comune di Roma*	48.793	3.800	3.443	2.357
Comuni raggio 3 km*	68.979	5.789	5.205	6.348

Tabella 6.7. Emissioni macroinquinanti per area *valori di emissione derivati dal dataset comunale anno 2005

Si nota facilmente come il contributo di Roma sia preponderante all'interno delle aree di studio e da sola, rappresenta circa la metà degli ossidi di azoto emessi nel Lazio e circa il 30% delle PM_{10}.

Analizzando i microinquinanti, la situazione è riassunta come segue:

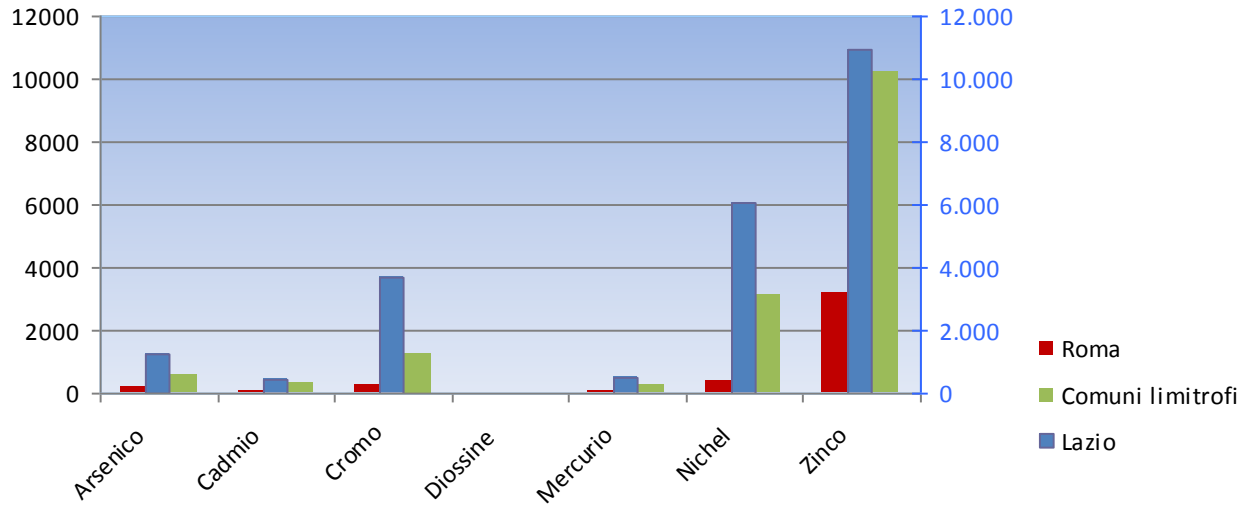


Grafico 6.2. Emissioni microinquinanti per area, valori di emissione derivati dal dataset comunale, anno 2005

In analogia con quanto detto sopra in merito ai macroinquinanti, anche in questo caso i valori regionali sono riferiti all'apposito asse a destra dell'area del grafico. Nella tabella sottostante vengono riportati i valori numerici:

Media 1995-2008, kg	**Arsenico**	**Cadmio**	**Cromo**	**Diossine e furani (g-teq)**	**Mercurio**	**Nichel**	**Zinco**
Lazio	1.222	418	3.685	8	511	6.035	10.926
Roma*	200	60	291	2	56	717	2.399
Comuni 3 km*	581	226	1.438	3	210	4.104	7.486

Tabella 6.8. Emissioni microinquinanti per area *valori di emissione derivati dal dataset comunale

I valori della precedente tabella sono espressi in kg, ove non diversamente specificato. Anche in questo caso si nota come Roma rappresenti di gran lunga il comune più rilevante dal punto di vista delle emissioni.

Di quanto discusso finora è utile ricordare che la sola discarica di Malagrotta rappresenta il contributo più significativo. Come abbiamo visto infatti, circa la metà dei rifiuti smaltiti nel Lazio finisce in tale discarica.

Nell'area di Malagrotta sono inoltre presenti altri impianti rilevanti da un punto di vista dell'impatto ambientale e, virtù del "peso" complessivo del sito nello studio in oggetto, il prossimo paragrafo descriverà più nel dettaglio proprio tale area.

6.2 Area Complessa di Malagrotta

L'area complessa di Malagrotta si estende per circa 50 km^2, comprende la discarica per rifiuti urbani, due impianti di trattamento meccanico biologico, un gassificatore, una raffineria, cave per inerti, un impianto di inertizzazione del percolato della discarica, un impianto di produzione di biometano, un inceneritore di rifiuti ospedalieri, e alcuni depositi di idrocarburi. Nell'area sono presenti diverse infrastrutture di trasporto ed alcune aree residenziali.

Dal punto di vista delle emissioni, coerentemente a quanto fatto finora, possiamo confrontare le emissioni dell'area complessa di Malagrotta con quelle dei comuni presenti nel raggio di 3km che nel caso specifico sono rappresentati dal solo comune di Roma.

Si riportano di seguito le emissioni del comune di Roma:

Emissioni comune di Roma, anno 2005	**Sigla**	**Quantità**
Inquinante		
Ammoniaca (t)	NH_3	2.357
Arsenico (kg)	As	200
Benzene (t)	C_6H_6	1.120
Cadmio (kg)	Cd	60
Composti organici volatili non metanici (t)	NMVOC	63.178
Cromo (kg)	Cr	291
Diossido di zolfo (SO_2+SO_3) (t)	SO_x	7.239
Diossine e furani (g teq)	PCDD - PCDF	2
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) (t)	PAHs	2.025
Mercurio (kg)	Hg	56
Metano (t)	CH_4	75.603
Monossido di carbonio (t)	CO	239.209
Nichel (kg)	Ni	717
Ossidi di azoto (NO+NO_2) (t)	NO_x	48.793
Particolato (< 10 micron) (t)	PM_{10}	3.800
Particolato (< 2.5 micron) (t)	$PM_{2.5}$	3.443
Piombo (kg)	Pb	5.403
Zinco (kg)	Zn	2.697

Tabella 6.9. Emissioni comune di Roma, anno 2005

Data l'elevata pressione antropica del comune di Roma, è utile focalizzare l'attenzione sull'area complessa di Malagrotta. Le fonti di emissione in tale area sono molteplici. Occorre innanzitutto considerare che la zona è racchiusa da quattro arterie a grande percorrenza: il GRA, l'A12, l'A91 e la SS1 – Aurelia. Inoltre sono presenti altre strade minori caratterizzate dal notevole flusso di automezzi pesanti afferenti ai diversi impianti.

Nelle vicinanze è inoltre presente l'aeroporto di Fiumicino, in cui nel solo 2008 sono stati effettuati oltre 340.000 voli.

Le emissioni della discarica, dell'inceneritore di rifiuti ospedalieri, della raffineria, del traffico, del riscaldamento domestico (residenziale) sono state stimate da ISPRA nello "Studio Ambientale sull'area di Malagrotta" elaborato nel 2011.

Emissioni (ton/anno) – Anno 2005									
	NO_x	SO_x	COVNM	CO	PM	IPA	Diox (gTeq)	CH4	C6H6
Discarica di Malagrotta	110,38	-	531,58	114,22	-	-		40.891,10	-
Inceneritore AMA	26,00	2,23	103,76	0,33	0,44	0,00001	0,01	0,85	
Raffineria di Roma SpA	409,00	1.981,00	975,00	12,81	54,26	0,00008	-	-	4,88
Traffico	1.002,46	4,40	805,41	3.451,93	73,08	0,00492	0,01	38,66	9,49
Emissioni residenziale	40,15	7,32	17,64	198,03	8,30	0,01964	0,01	10,42	
TOTALE	1.587,99	1.994,96	2.433,39	3.777,33	136,06	0,02	0,03	40.941,05	14,36

Figura 6.1. Emissioni area di Malagrotta, "Studio Ambientale sull'area di Malagrotta", ISPRA.

Emissioni (kg/anno) – Anno 2005									
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
Discarica di Malagrotta	0,07	0,06	0,24	8,08	0,54	3,26	0,58	0,53	0,003
Inceneritore AMA	0,32	0,28	17,86	2,58	0,18	52,40	0,76	-	-
Raffineria di Roma SpA	0,20	0,43	0,32	0,43	0,36	4,12	0,68	0,01	4,85
Traffico		0,66	3,32	112,86		4,65	0,00	0,66	66,39
Emissioni residenziale	0,59	1,43	21,74	123,95	1,08	64,43	2,02	1,20	71,24

Figura 6.2. Emissioni area di Malagrotta, "Studio Ambientale sull'area di Malagrotta", ISPRA.

L'impatto del traffico aereo è stato stimato dall' ISPRA, per gli ossidi di azoto, pari a circa 1.750 tonnellate all'anno.

Le emissioni diffuse relative alla discarica sono state stimate attraverso il modello GasSim, come per le altre discariche, al fine di valutare anche questa tipologia di emissioni. I risultati delle simulazioni (riportate in dettaglio in appendice) sono sinteticamente i seguenti:

Parametri	**CH_4**	**H_2S**	**C_6H_6**
Discarica di Malagrotta (valori in t/a)	3.052	6	1,2

Tabella 6.10. Emissione media per la discarica di Malagrotta, per gli anni1996-2008

In conclusione si può osservare che, con riferimento al benzene, il contributo della discarica rispetto al totale emesso nell'area è relativamente modesto, essendo, ad esempio, circa otto volte inferiore alla quantità di tale contaminante dovuta, ad esempio, al traffico (cifr. tabella "Emissioni area di Malagrotta, "Studio Ambientale sull'area di Malagrotta", ISPRA.) e che per quanto riguarda NO_x e particolato i contributi degli impianti di Malagrotta sono pari a circa il 25-30% delle emissioni complessive stimate nell'area e circa pari al 2% di quelle dell'intero comune di Roma.

6.3 Termovalorizzatori

I termovalorizzatori presenti nel Lazio sono quattro: uno a Malagrotta (gassificatore), due a Colleferro ed uno a San Vittore del Lazio.

I due impianti di Colleferro nel seguito sono stati considerati complessivamente in termini di emissione. Il gassificatore di Malagrotta non è stato analizzato essendo stato attivato successivamente al 2008. Da un punto di vista generale i tre termovalorizzatori sono utilizzati per il recupero energetico dei rifiuti, e nel 2008 hanno prodotto circa 193.000 MWh bruciando prevalentemente combustibile da rifiuti (CDR).

Le emissioni di tali impianti dipendono dal loro rendimento energetico (un minore rendimento comporta maggiori emissioni) e da altri fattori, tra i quali i principali sono la composizione del combustibile e le condizioni di combustione.

La formazione di composti pericolosi indesiderati, infatti, quali ad esempio diossine e furani, tipicamente può avvenire in presenza di composti clorurati nel combustibile e di condizioni di combustione della caldaia non perfettamente efficienti.

Tali problemi vengono limitati tramite opportuni meccanismi di controllo, durante il normale funzionamento a regime.

La composizione del rifiuto in ingresso, influenza sia la composizione chimica delle emissioni, sia il rendimento dell'impianto.

In analogia con lo studio effettuato per le discariche i dati relativi ai rifiuti inceneriti nei termovalorizzatori sono stati acquisiti dalle schede tecniche elaborate dalla Regione Lazio, dalle autorizzazioni AIA e da quelle precedenti alla normativa AIA, dalle attività di controllo effettuate dall'Agenzia, dai Rapporti dei Rifiuti dell'ISPRA e dai dati del Piano regionale dei rifiuti.

Per stimare i valori di emissione dei termovalorizzatori sono stati utilizzati i consumi di CDR moltiplicati per specifici fattori di emissione relativi ai diversi inquinanti. I fattori di emissione presi a riferimento nello studio sono stati individuati e selezionati a partire dal database disponibili a livello nazionale (ISPRA – ex ANPA) e internazionale (EPA - USA) confrontati e calibrati rispetto a quanto contenuto nelle prescrizioni autorizzative e dai dati forniti dai gestori nel corso degli ultimi anni. Tale confronto e percorso di valutazione ha consentito di esprimere, comunque secondo un principio cautelativo, un range efficace di fattori di emissione rappresentativo o il più possibile

rappresentativo del decennio di funzionamento degli impianti e delle loro caratteristiche funzionali.

Le quantità di rifiuto trattato sono state derivate dalle statistiche della regione Lazio e dal Rapporto Rifiuti ISPRA. Gli inquinanti considerati sono quelli tipici della combustione: gli ossidi di azoto (NO_x), il particolato (PM_{10}) ed i metalli. Non essendo presenti in tali impianti processi di degradazione della materia organica H_2S e CH_4 non vengono emessi. In questo tipo di impianti sono spesso presenti più linee di emissione. I valori delle emissioni presentati sono stati ottenuti considerando una singola linea emissiva equivalente alle linee realmente presenti.

In analogia con quanto discusso in merito alle discariche, va considerato che il contributo emissivo dei termovalorizzatori è una percentuale delle emissioni complessive che insistono sul territorio.

Si riportano pertanto le emissioni totali relative alle provincie di Roma e Frosinone, in cui sono presenti gli impianti.

Inquinante	Frosinone	Roma	Totale Lazio
Ammoniaca (t)	3.324	6.423	19.751
Arsenico (kg)	169	637	1.222
Benzene (t)	145	1.314	1.792
Cadmio (kg)	214	164	418
Composti organici volatili non metanici (t)	15.459	89.930	135.719
Cromo (kg)	553	1.996	3.685
Diossido di zolfo (SO_2+SO_3) (t)	1.069	31.105	35.351
Diossine e furani (g teq)	1	5	8
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) (kg)	683	3.295	5.615
Mercurio (kg)	213	224	511
Monossido di carbonio (t)	33.266	297.552	405.595
Nichel (kg)	319	4.178	6.035
Ossidi di azoto (NO+NO_2) (t)	13100	73455	106.743
Particolato (< 10 micron) (t)	1.569	7.377	12.498
Particolato (< 2.5 micron) (t)	1.421	6.707	11.195
Piombo (kg)	18.020	75.245	121.049
Rame (kg)	972	4.003	6.240
Zinco (kg)	3.787	5.208	10.926

Tabella 6.11. Emissioni provinciali e regionali

Nei termovalorizzatori considerati viene bruciato quasi esclusivamente CDR. Le quantità trattate possono variare da un anno all'altro, ma in linea generale si avvicinano alla capacità massima dell'impianto. Le grandi variazioni si hanno negli anni di avvio, prima di raggiungere una situazione di regime. In questo senso, la situazione di funzionamento a pieno ritmo di tutti i termovalorizzatori si è avuta dopo il 2008.

Termovalorizzatori anni 1999-2009	**Quantità di Rifiuto media trattati [t/a]**
Colleferro	120.000
San Vittore nel Lazio	71.000
Totale Lazio	191.000

Tabella 6.12. Rifiuti trattati nei termovalorizzatori del Lazio

Il totale dei rifiuti trattati (191.000 ton) considerato sul periodo 1999-2009 diventa un totale medio pari a 145.000 ton/anno circa poiché gli impianti sono entrati in esercizio a partire dal 2002.

Si riporta di seguito il confronto tra la stima delle emissioni medie degli impianti con quelle regionali e quelle dei comuni il cui territorio ricade nell'aria di 3 km di raggio attorno all'impianto.

Media 1995-2008, [ton]	**Benzene**	**Composti organici volatili non metanici**	**Diossido di zolfo (SO_2+SO_3)**	**Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) [kg]**
Lazio	1.792	135.719	35.351	5.615
Comuni 3 km*	1.139	65.515	7.926	2.150
Termovalorizzatori*	-	-	2	0.07

Tabella 6.13a. Emissioni macroinquinanti per area

Media 1995-2008, [ton]	**Monossido di carbonio**	**Ossidi di azoto (NO+NO_2)**	**Particolato (<10 micron)**	**Particolato (<2.5 micron)**
Lazio	405.595	106.743	12.498	11.195
Comuni 3 km*	247.077	54.428	4.173	3.768
Termovalorizzatori*	-	148	2**	-

Tabella 6.13b. Emissioni macroinquinanti per area

*valori di emissione derivati dal dataset comunale anno 2005
**emissioni stimate come polveri totali.

Media 1995-2008, [kg]	Ammoniaca [ton]	Arsenico	Cadmio	Cromo	Diossine e furani [g-teq]
Lazio	19.751	1.222	418	3.685	8
Comuni 3 km*	2.856	220	92	364	2
Termovalorizzatori*	-	-	20**	-	0.02***

Tabella 6.14a. Emissioni microinquinanti per area

Media 1995-2008, [kg]	Mercurio	Nichel	Zinco	Acido Fluoridrico
Lazio	511	6.035	10.926	-
Comuni 3 km*	120	928	3.200	-
Termovalorizzatori*	34	-	-	25

Tabella 6.14b. Emissioni microinquinanti per area

*valori di emissione derivati dal dataset comunale anno 2005
**valore comprensivo di Cadmio e Titanio
***il dato si riferisce alle sole emissioni di diossine espresse in grammi totali

Analizzando i dati si vede come in termini di macroinquinanti il contributo dei termovalorizzatori sia limitato rispetto al contesto. All'interno delle aree considerate infatti ci sono sorgenti che sia per questioni di tecnologia, sia per combustibile usato, sia per rilevanza numerica (si pensi al numero di automobili confrontato al numero di termovalorizzatori), emettono quantità significativamente superiori di tali composti.

Spostando l'attenzione sui metalli (microinquinanti) appare evidente come i valori tra la stima di quanto immesso in atmosfera da parte degli impianti rispetto ai relativi contributi dei comuni interessati, differisce di circa un ordine di grandezza, contribuendo quindi in modo più significativo alle emissioni complessive rispetto a quanto avviene per i macroinquinanti.

6.4 Trattamento Meccanico Biologico

Gli impianti di trattamento meccanico biologico (TMB) considerati ai fini del progetto sono sette: Albano, Colfelice, Malagrotta 1, Malagrotta 2, Rocca Cencia, Salaria e Viterbo. Questo tipo di impianti è spesso parte del complesso impiantistico di una discarica e la sua funzione è quella di operare una selezione del rifiuto entrante, nell'ottica di minimizzare lo scarto smaltito senza recupero di materia o energia. I flussi uscenti da un TMB sono costituiti da CDR, fanghi e scarti da smaltire in discarica, parte quest'ultima che rappresenta la frazione maggiore del flusso di materia a valle dell'impianto.

Questo tipo di impianti, oltre a selezionare i materiali idonei per la formazione del CDR, svolgono l'importante funzione di stabilizzare la frazione organica presente, in modo che essa possa essere riutilizzata in agricoltura come ammendante o, laddove smaltita in discarica, questa produca una minore quantità di percolato e biogas.

Le operazioni sopradescritte possono essere rappresentate visivamente secondo il seguente schema:

Figura 6.3. Schema concettuale di un impianto di trattamento meccanico biologico

Dove viene mostrata, a grandi linee, il lavoro di differenziazione e selezione che viene fatto all'interno di tali impianti. Le sigle presentate sono abbreviazioni per le varie frazioni in uscita, in particolare:

CDR	Combustibile da Rifiuto
Frazione BS	Frazione Biostabilizzata
FOS/FS	Frazione Organica Stabilizzata/ Frazione Stabilizzata

Tabella 6.15. Sigle dei materiali di output di un impianto TMB

I dati raccolti sui TMB sono stati estratti dalle schede tecniche elaborate dalla Regione Lazio, dalle autorizzazioni AIA e da quelle precedenti alla normativa AIA, dalle attività di controllo effettuate dall'Agenzia, dai Rapporti dei Rifiuti dell'ISPRA e dai dati del Piano Regionale dei Rifiuti.

Nella tabella seguente sono mostrati i flussi di materiale in entrata ed in uscita dall'impianto, con la relativa differenziazione merceologica.

Rifiuti trattati nei TMB considerati	**Rifiuti in entrata [t/a]**	**CDR prodotto[t/a]**	**Frazione BS [t/a]**	**Frazione FOS/FS [t/a]**
Lazio	809.763	143.398	108.843	118.476

Tabella 6.16a. Input e differenziazione merceologica dell'output dei TMB del Lazio per l'anno 2008.

Rifiuti trattati nei TMB considerati	**Recupero [t/a]**	**Scarti (discarica) [t/a]**	**Rifiuti in uscita [t/a]**
Lazio	11.423	525.066	706.681

Tabella 6.16b. Input e differenziazione merceologica dell'output dei TMB del Lazio per l'anno 2008.

Una volta determinati i flussi di materia, si è provveduto a stimare i valori di emissione in modo analogo a quanto fatto per le discariche ed i termovalorizzatori.

Per stimare i valori di emissione dei TMB sono stati utilizzate le quantità di rifiuto trattato moltiplicati per specifici fattori di emissione relativi ai diversi inquinanti. I fattori di emissione presi a riferimento nello studio sono stati individuati e selezionati a partire dal database disponibili a livello nazionale (ISPRA – ex ANPA) e internazionale (EPA- US) confrontati e calibrati rispetto a quanto contenuto nelle prescrizioni autorizzative e dai dati forniti dai gestori nel corso degli ultimi anni. Tale confronto e percorso di valutazione ha consentito di esprimere, comunque secondo un principio cautelativo, un range efficace di fattori di emissione rappresentativo o il più possibile rappresentativo del decennio di funzionamento degli impianti e delle loro caratteristiche funzionali.

Complessivamente le quantità di rifiuto trattate medie nel decennio sono state di:

TMB, anni 1999-2008	Quantità di Rifiuto media trattati [t/a]
Albano, Roma	164.987
Malagrotta1, Roma	26.921
Malagrotta2, Roma	11.636
Rocca Cencia, Roma	34.984
Salaria, Roma	2.813
Totale Roma	***241.340***
Colfelice, Frosinone	149.304
Viterbo, Viterbo	227.531
Totale Lazio	***618.174***

Tabella 6.17. Rifiuti trattati negli impianti di trattamento meccanico biologico

Nel ciclo impiantistico è presente una non trascurabile produzione di H_2S e CH_4, VOC e sostanze odorigene, a causa dei processi di stabilizzazione della sostanza organica.

Tali emissioni sono sostanzialmente contenute all'interno dell'impianto dal funzionamento dei capannoni in depressione e quindi successivamente trattate da sistemi di abbattimento e dai biofiltri.

Nelle tabelle seguenti sono messi a confronto le emissioni del ciclo dei TMB con quelle a livello regionale e dei comuni interessati da tali impianti, ricadenti nelle aree oggetto di studio.

Media 1995-2008, [ton]	Benzene	Composti organici volatili non metanici	Diossido di zolfo (SO_2+SO_3)	Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) [kg]	Monossido di carbonio
Lazio	1.792	135.719	35.351	5.615	405.595
Comuni 3 km*	1.281	71.361	7.995	2.365	255.428
TMB			0,8	0,000013	

Tabella 6.18a. Emissioni macroinquinanti per area

*valori di emissione derivati dal dataset comunale anno 2005

Media 1995-2008, [ton]	Ossidi di azoto ($NO+NO_2$)	Particolato (< 10 micron)	Particolato (< 2.5 micron)	H_2S
Lazio	106.743	12.498	11.195	-
Comuni 3 km*	53.412	4.173	3.768	-
TMB	-	3,9**		3,4

Tabella 6.18b. Emissioni macroinquinanti per area

*valori di emissione derivati dal dataset comunale anno 2005
** valore valutato come polveri totali

Media 1995-2008, [kg]	Ammoniaca [ton]	Arsenico	Cadmio	Cromo
Lazio	19.751	1.222	418	3.685
Comuni 3 km*	4.600	275	83	401
TMB	12	0,2	16	

Tabella 6.19a. Emissioni microinquinanti per area

Media 1995-2008, [kg]	Mercurio	Nichel	Zinco	Acido Fluoridrico
Lazio	511	6.035	10.926	-
Comuni 3 km*	74	964	3.750	-
TMB	82	6	76	131

Tabella 6.19b. Emissioni microinquinanti per area

*valori di emissione derivati dal dataset comunale anno 2005

Il contributo alle emissioni dei TMB risulta modesto se raffrontato alla somma degli altri contributi insistenti sulle aree prese in esame. Inoltre le caratteristiche emissive di tali impianti (emissione reale da biofiltro) determinano un'area di potenziale impatto relativamente circoscritta attorno all'impianto.

7 Indagini Sperimentali (Misure in Campo/Laboratorio)

7.1 Discariche

Nell'ambito delle attività a supporto dell'indagine epidemiologica e anche con riferimento alle diverse esigenze di caratterizzazione della qualità dell'aria di ambiti territoriali della regione Lazio, l'ARPA ha condotto campagne sperimentali con mezzi mobili e centraline rilocabili. In particolare, nella zona di Malagrotta sono state condotte tre campagne sperimentali rispettivamente, dal 13 giugno al 4 dicembre del 2008, dal 7 febbraio al 2 aprile del 2009 e dal 10 luglio al 13 agosto del 2012. Inoltre da febbraio 2010 il territorio di Malagrotta è monitorato da una centralina fissa della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria. Nella tabella successiva si elencano i periodi delle campagne di monitoraggio della qualità dell'aria eseguite nei pressi della discarica di Cecchina, Viterbo, Borgo Montello e Guidonia.

Territorio	Impianto	Periodo delle campagne
Malagrotta (RM)	Discarica per rifiuti non pericolosi	2008-2009-2012*
Cecchina (RM)	Discarica per rifiuti non pericolosi	25/11/2009 18/02/2010
Le Fornaci (VT)	Discarica per rifiuti non pericolosi	09/12/2011 09/01/2012
Borgo Montello (LT)	Discarica per rifiuti non pericolosi	06/05/2012 14/06/2012
Guidonia (RM)	Discarica per rifiuti non pericolosi	04/07/2012 08/08/2012

Tabella 7.1. Periodo di monitoraggio e localizzazione delle campagne sperimentali eseguite.
* I range dei periodi di monitoraggio nell'area di Malagrotta sono specificati nel testo sovrastante.

Durante le campagne sperimentali, sono stati monitorati i seguenti inquinanti: SO_2, NO_2, CO, PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, sostanze organiche volatili, diossine, PCB (policlorobifenili), aldeidi, metalli e IPA (idrocarburi policiclici aromatici). Per contribuire alla valutazione degli indici di esposizione della popolazione che vive in prossimità degli impianti, sono analizzate nel seguito i livelli di concentrazione media rilevati durante le campagne da mettere in confronto con quanto registrato dalla rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria.

Si deve tener conto che le medie elaborate si riferiscono a campagne periodiche, con durata temporale limitata, per cui non confrontabili con i limiti di legge (medie annue),

ma si ritengono allo stesso modo significative nel fornire elementi utili alla caratterizzazione della qualità dell'aria nella zona di indagine.

Tutti i dati riguardanti le singole campagne di misura sono raccolti nei report di dettaglio disponibili in allegato all'appendice.

- *Inquinanti Gassosi e Particolato Fine*

Come si può evincere dalla tabella seguente, l'area monitorata attorno alle discariche non presenta valori superiori ai limiti normativi vigenti (vedi tavola 3).

Campagna	**NO_2 [µg/m^3]**	**SO_2 [µg/m^3]**	**PM_{10} [µg/m^3]**	**$PM_{2.5}$ [µg/m^3]**
Limite annuo	*40*	*20*	*40*	*25*
Malagrotta (RM)	27.0	2.0	25.5	14.7*
Cecchina (RM)	21.0	1.5	22.0	17.0
Guidonia (RM)	19.0	2.0	28.0	14.0
Le Fornaci (VT)	11.0	0.9	14.4	9.10
Borgo Montello (LT)	10.0	1.0	20.0	10.0

Tabella 7.2. Concentrazioni medie del periodo della campagna
*Concentrazione relativa solo alla campagna 2012

Si è ritenuto significativo effettuare un confronto con le concentrazioni rilevate dalle centraline della rete automatica regionale di monitoraggio della qualità dell'aria presenti a Roma, nella provincia di Roma a Viterbo ed a Civita Castellana, scelte secondo un criterio di rappresentatività spaziale e di specifica caratteristica della stazione di rilevamento.
In particolare, nel grafico successivo, sono confrontati i livelli di concentrazione media di PM_{10} e NO_2 in quanto rappresentativi dell'inquinamento prodotto dalle attività industriali, dagli impianti di combustione e dal traffico veicolare; attività connesse ad un impianto di smaltimento dei rifiuti.

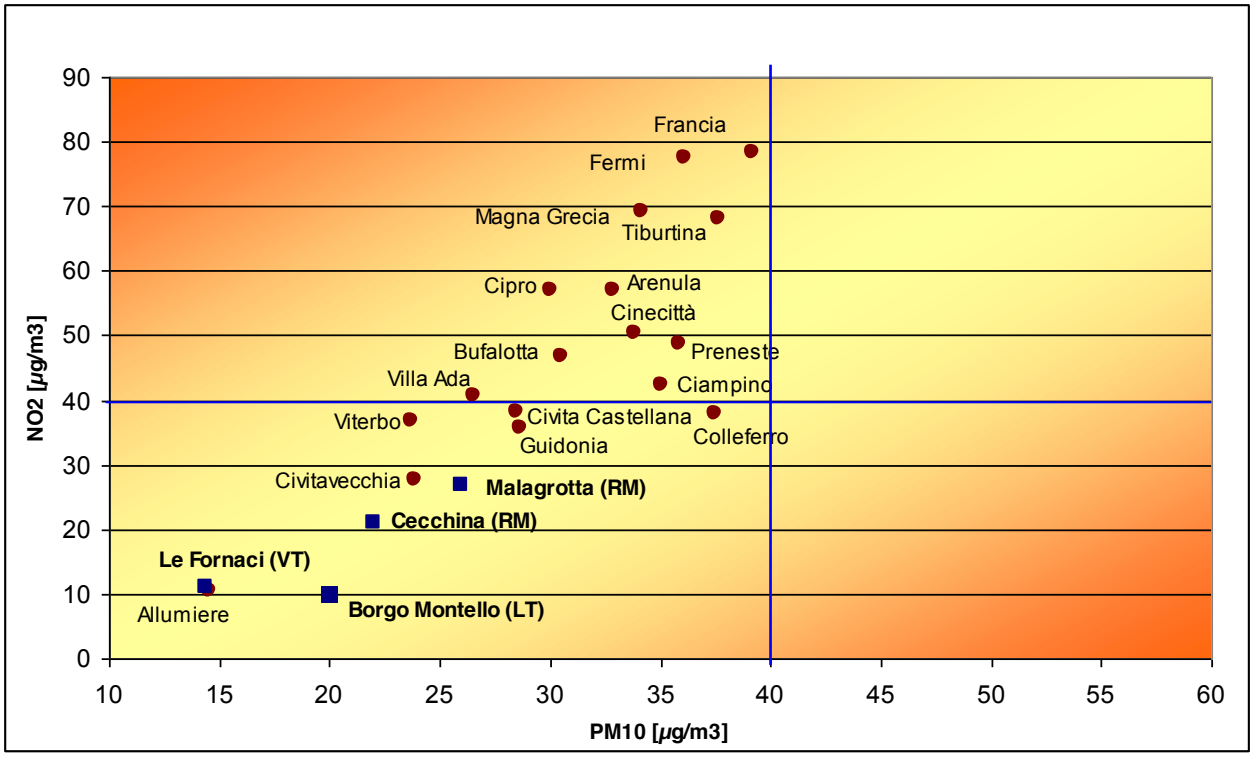


Grafico 7.1. Confronto tra le medie annuali di NO_2 e PM_{10} delle centraline regionali (2008-2011) con le medie complessive delle campagne effettuate dall'ARPA Lazio.

Si osserva che i livelli medi di concentrazione rilevati in prossimità degli impianti di discarica ricadono nel quadrante che indica valori inferiori ai limiti previsti dalla normativa. Inoltre, le aree in osservazione mostrano livelli di qualità dell'aria generalmente confrontabili con aree a media intensità urbanistica e non nelle immediate vicinanze di trafficate arterie stradali.

- *Metalli e IPA*

Di seguito si mostrano i risultati dei soli metalli e IPA per cui la normativa attualmente vigente prevede un *limite/valore obiettivo* di riferimento. Tali medie sono state confrontate con la media annuale (2009/2010) delle concentrazioni rilevate presso le stazioni fisse regionali poste a Villa Ada, Corso Francia, Cinecittà, Civitavecchia e Guidonia. Come si può osservare le concentrazioni medie ottenute dalle campagne in esame risultano dello steso ordine di quelle rilevate dalle centraline fisse che a loro volta sono inferiori dei limiti stabiliti dal D.Lgs 155/2010.

Stazione	Pb [ug/m³]	Cd [ng/m³]	As [ng/m³]	Ni [ng/m³]	Benzo(a)pirene [ng/m³]
Limite - Valore Obiettivo	*0.5*	*5*	*6*	*20*	*1*
Campagna Malagrotta	**0.007**	**0.2**	**0.5**	**2.1**	**0.28**
Campagna Albano	**0.006**	**0.2**	**0.3**	**1.3**	**0.82**
Campagna Viterbo	**0.0005**	**0.1**	**0.3**	**1.5**	**0.04**
Campagna Guidonia	**0.002**	**0.1**	**0.4**	**1.4**	**0.02**
Civitavecchia	0.005	0.1	0.5	3.2	0.17
Guidonia	-	-	-	-	0.54
Francia	0.011	0.2	0.7	3.4	0.56
Villa Ada	0.010	0.2	0.6	2.5	0.46
Cinecittà	0.012	0.3	0.6	2.4	0.54

Tabella 7.3. Concentrazioni medie dei metalli e degli IPA

- *Sostanze Organiche Volatili e Aldeidi*

L'impiego di campionatori passivi e la loro successiva analisi in laboratorio ha reso possibile la determinazione della concentrazione in aria di una serie di sostanze rappresentative di forme d'inquinamento connesse a processi industriali, a combustione ed eventuali fenomeni di origine odorigena. Nelle tabelle che seguono sono riportati i valori misurati nelle campagne in esame e, per un confronto, i valori misurati a Cinecittà con la stessa tecnica e nel medesimo periodo delle campagne di Malagrotta e di Albano. Come si può notare la presenza di queste sostanze nelle diverse località è di paragonabile entità.

Inquinante [µg/m³]	Malagrotta	Cinecittà	Albano	Cinecittà	Viterbo	Guidonia	Borgo Montello
1.1.1-Tricloroetano	<0.1	<0.1	0.2	0.2	-	-	-
Acetonitrile	1.3	1.0	0.9	0.8	3.55	<0.01	<0.1
Alfa-Pinene	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.01	<0.01	<0.1
Benzene	**1.4**	**1.7**	**1.3**	**3.0**	**0.59**	**0.38**	**0.50**
Butile acetato	0.4	0.3	0.3	0.8	0.07	0.14	<0.2
Canfora	0.3	0.2	<0.1	<0.1	0.01	<0.04	<0.1
Cloruro di vinile	<0.1	<0.1	-	-	-	-	-
Etile acetato	0.3	0.4	0.2	0.5	0.15	0.13	<0.6
Limonene	<0.1	0.3	0.3	0.9	0.37	<0.01	<0.6
M+P-Xilene	1.9	3.8	0.9	3.2	0.25	0.47	0.40
Metil etilchetone	0.4	0.3	0.3	0.5	0.28	0.39	<0.3
O-Xilene	1	0.9	0.4	1.1	0.09	0.10	0.20
Tetracloroetilene	0.3	0.9	0.3	0.9	0.09	0.13	0.40
Toluene	3.1	5.3	1.6	4.6	0.55	0.97	1.90
Tricloroetilene	<0.1	<0.1	0.2	0.1	0.07	0.06	0.90

Tabella 7.4. Concentrazioni medie di periodo delle Sostanze Organiche Volatili

I livelli di concentrazione di benzene (inferiori al limite di 5 μg/m^3) sono indicativi della differente collocazione territoriale delle aree in studio, in particolare Malagrotta e Cinecittà sono in contesti a significativa area antropica mentre Viterbo, Guidonia e Borgo Montello sono collocati in un contesto extra-urbano a scarsa circolazione veicolare.

Aldeidi [μg/m^3]	**Malagrotta**	**Cinecittà**	**Albano**	**Cinecittà**	**Viterbo**	**Guidonia**	**Borgo Montello**
Formaldeide	2.26	2.91	2.5	2.3	1.96	4.13	3.1
Acetaldeide	1.94	2.37	1.2	1.6	1.49	10.40	0.6
Butirraldeide	-		-	-	1.02	8.56	2.1
Benzaldeide	0.15	0.20	-	-	0.12	4.77	0.6

Tabella 7.5. Concentrazioni medie degli aldeidi riferite al periodo delle campagne

Le aldeidi sono composti caratteristici sia di fenomeni odorigeni che precursori attivi nei processi di formazione dello smog fotochimico (O_3-NO_2). La generale uniformità dei livelli rilevati nelle diverse stazioni, è indicativa della stazionarietà e persistenza di tali composti in atmosfera.

- *Policlorobifenili (PCB)*

I PCB sono stati determinati presso il sito di Malagrotta in tre diversi campionamenti nel periodo estivo 2008. I livelli medi variano per i PCB totali tra 7,6 e 29 pg/m^3 (1 picogrammo=10^{-6} microgrammo). Valori mediamente più alti sono stati registrati nello stesso periodo presso il sito di Cinecittà (da 18,3 a 48 pg/m^3). Nell'autunno 2008 è stata effettuata un'altra campagna con risultati analoghi: PCB totali a Malagrotta 1,0 – 3,7 pg/m^3; PCB totali a Cinecittà 18 pg/m^3.
Nelle ultime campagne di monitoraggio (2011-2012) eseguite a Malagrotta ed a Viterbo sono state ricavate le medie delle concentrazioni dei PCB esposte nella tabella successiva insieme ai valori di PCB totali e PCB-7.

PCB [pg/m^3]	**Borgo Montello**	**Guidonia**	**Malagrotta**	**Viterbo**
28	20.2	20.6	22.3	4.8
52	10.6	17.2	16.1	2.6
81	<0.1	<0.05	< 0.05	<0.05
77	<0.1	<0.05	< 0.05	<0.05
95	6.1	10.6	10.4	1.3
101	4.9	9.0	8.4	1.2

PCB [pg/m^3]	Borgo Montello	Guidonia	Malagrotta	Viterbo
110	2.5	8.1	6.5	0.6
118	1.4	4.9	3.8	1.0
105	0.5	1.5	1.7	0.2
151	0.8	2.1	2.1	0.3
149	2.0	7.3	6.4	0.7
146	<0.1	0.9	0.6	<0.05
153	2.8	6.3	6.1	0.8
138	1.7	4.4	4.1	0.5
167	<0.1	0.2	0.3	<0.05
187	0.6	1.1	2	0.2
183	0.3	1.1	0.8	0.1
177	0.3	0.6	0.5	0.1
180	0.7	2.5	2.4	0.4
170	0.3	0.8	0.9	0.1
189	<0.1	<0.05	< 0.05	0.2
PCB tot	**57.5**	**101.6**	**98.6**	**15.1**
PCB-7	**42.3**	**64.7**	**63.3**	**11.4**

Tabella 7.6. Concentrazioni medie dei PCB riferite al periodo delle campagne.

Allo scopo di permettere un primo confronto orientativo circa i livelli di concentrazione rilevati nelle aree di studio, si riporta una sintesi dei livelli riscontrati in diverse campagne sperimentali condotte in aree urbane.

Location and Year	PCB-7 Concentration Average, (Min. - Max.) [pg/m3]	Reference
Sofiemberg parken, 2007	31,8 (15,3 - 61,9)	This study
Sjursjøya, 2002	54	Berrink et al.
Athens, 2000	41,7	Mandalakis et al. 2002
Seoul, 1999	42,2	Yeo et al. 2004

Tabella 7.7. Confronto della concentrazione di PCB-7 in campioni di aria urbana prelevati in differenti città.

Si osservi che nelle aree in prossimità delle discariche di Malagrotta, Guidonia e Borgo Montello la concentrazione media dei PCB–7 (ottenuta dalla somma dei 7 congeneri definiti ad "alta tossicità" : 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) confrontabile con i livelli di PCB-7 rilevati nelle aree urbane sopra citate e relativi a stazioni di monitoraggio in ambiente urbano/industriale ad elevata intensità.

Si evidenzia che, i valori medi rilevati in letteratura sono relativi a rilievi fatti su diverse postazioni ubicate in zone con livelli di pressione ambientale differenti e quindi rappresentativi delle diverse caratteristiche delle aree urbane. Il valore misurato nelle campagne in esame fa riferimento ad un'unica postazione e ad un periodo limitato dell'anno.

- Diossine

Nelle ultime campagne di monitoraggio della qualità dell'aria (2011-2012) effettuate nei pressi delle discariche di Viterbo, Malagrotta, Guidonia e Borgo Montello è stata rilevata la concentrazione delle diossine; di seguito si espongono le medie ottenute da diversi campionamenti nei 4 differinti siti. Il livello di concentrazione di diossine espresso in Teq (tossicità equivalente) è stato calcolato mediante la tecnica del "medium bound" abitualmente utilizzata in ambito internazionale per valutare i livelli di concentrazione medi.

DIOSSINE [fg/m3]*	**Viterbo**	**Malagrotta**	**Guidonia**	**Borgo Montello**
2378-TCDD	0.6	1.1	1.8	3.2
12378-PeCDD	2.0	3.7	10.4	10.0
123478-HxCDD	2.8	2.8	14.6	12.1
123678HxCDD	2.7	5.4	8.9	13.4
123789-HxCDD	3.2	3.3	9.2	12.8
1234678-HpCDD	2.5	12.1	12.2	15.2
OCDD	17.4	16	16.2	35.3
2378-TCDF	2.1	11.7	6.7	4.6
12378-PeCDF	2.6	9.8	12.3	14.0
23478-PeCDF	3.1	7.3	12.4	15.9
123478-HxCDF	3.4	9.1	13.4	18.6
123678-HxCDF	2.5	7.5	11.4	12.9
123789-HxCDF	3.8	8.9	11.1	13.9
234678-HxCDF	2.2	3.9	10.1	13.2
1234678-HpCDF	5.7	24	21.9	17.2
1234789-HpCDF	3.6	3	7.5	13.5
OCDF	10.0	9.8	20.7	31.1
Teq	**5.7**	**12.8**	**20.6**	**24.4**

Tabella 7.8. Media della concentrazione di diossine
*fg= fentogrammi =10^{-9} microgrammi

Per un confronto indicativo circa i livelli di concentrazione di diossine rilevati nelle aree di studio, si riporta una sintesi dei livelli riscontrati in diverse campagne sperimentali condotte in aree urbane.

Location and Year	Dioxin concentration Average, (Min. - Max.) [TE fg/m³]	Reference
Sofienbergparken, 2007	28,2 (4,80 - 86,5)	This study
Vålerenga, 1989	100 (40/200)	Oehme et al. 1991
Athens, 2000	(42 – 73)	Mandalakis et al. 2002
Roma, 2001	46,9 (4,4 - 245)	Turrio-Baldassarri et al. 2005
Beijing, 2006	268 (18 - 644)	Li et al. 2008

Tabella 7.9. Livelli di concentrazione di diossine in differenti città

Dagli studi effettuati si evince che i Teq riscontrati nei pressi delle discariche risultano confrontabili con i valori minimi osservati negli studi sopra citati.

7.2 Area Complessa di Malagrotta

Nell'ambito dell'analisi epidemiologica del progetto, le campagne sperimentali e la rete di monitoraggio di inquinanti atmosferici costituiscono un elemento fondamentale per comprendere e valutare il potenziale livello di esposizione delle popolazioni sia con metodi riferiti ai periodi oggetto di studio che con campagne ad "hoc" e successive valutazioni comparative.

Nel territorio di Malagrotta sono stati analizzati i risultati delle tre campagne sperimentali condotte dall'ARPA Lazio rispettivamente nel 2008, nel 2009 e nel 2012, i monitoraggi eseguiti dall'ISPRA nel periodo 2009-2010, ed infine i dati registrati dalla centralina fissa della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria installata, nel territorio in osservazione, da febbraio 2010. Di seguito si riporta la localizzazione dei punti di monitoraggio scelti nelle suddette campagne; si noti che il sito della campagna 2009-2010 eseguita dall'ISPRA coincide con il sito scelto dall'ARPA Lazio nella campagna 2008 realizzata nella zona di Massimina presso la scuola "Nando Martellini" in via Ildebrando della Giovanna.

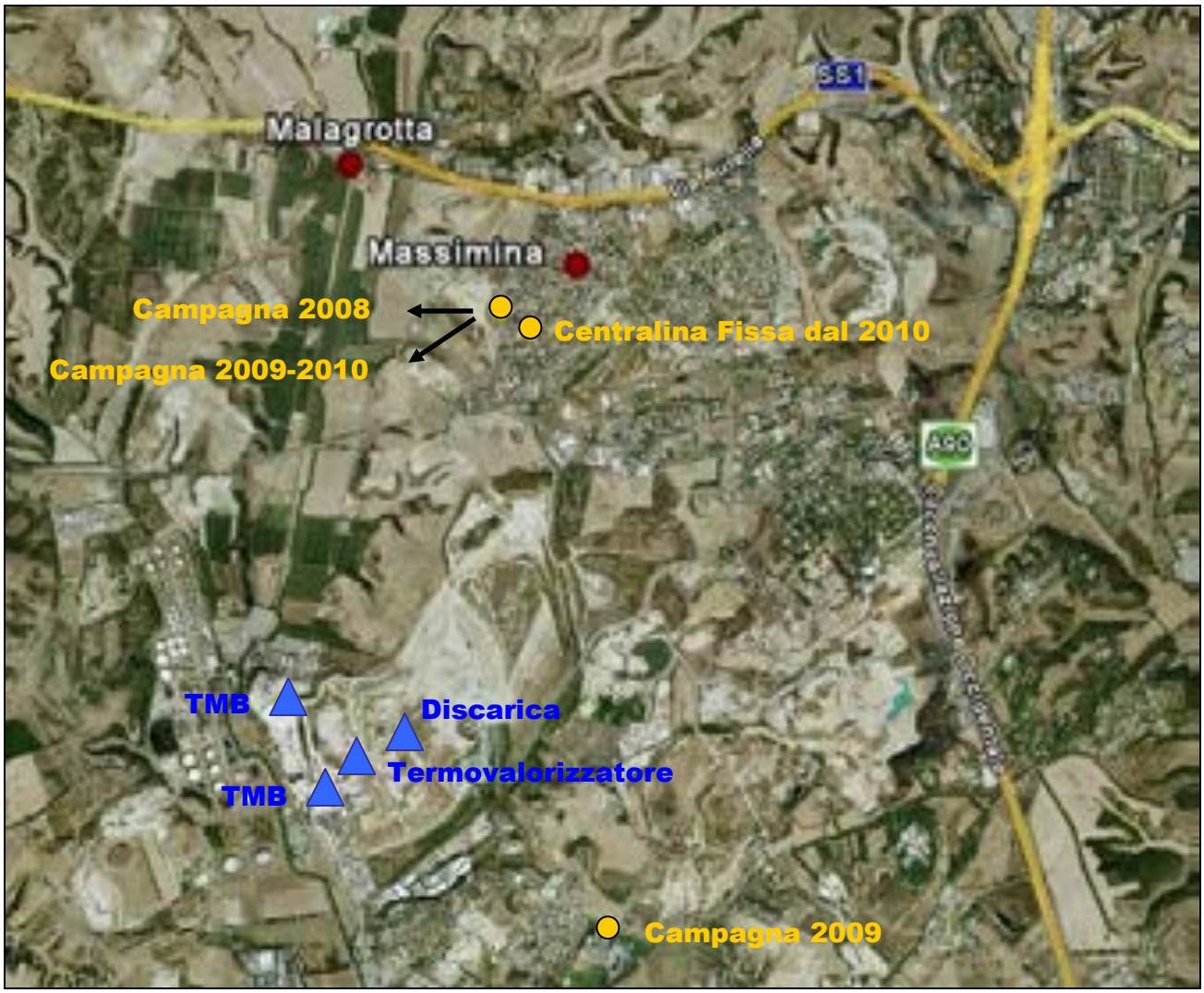


Figura 7.1. Localizzazione dei siti delle centraline mobili/fisse rispetto agli impianti di smaltimento rifiuti di Malagrotta.

- *Inquinanti Gassosi e Particolato Fine*

Di seguito si mostrano le medie degli inquinanti gassosi e del particolato fine ottenute dalle campagne periodiche di monitoraggio dell'aria e dalla centraline fissa di Malagrotta.

Monitoraggi	**Periodo**	**Benzene** [µg/m^3]	**NO_2** [µg/m^3]	**O_3** [µg/m^3]	**PM_{10}** [µg/m^3]	**$PM_{2.5}$** [µg/m^3]	**SO_2** [µg/m^3]
limite annuo		*5*	*40*		*40*	*25*	*20*
Campagna 2008	13/06/08 04/12/08	1.1	27	50	23	17	2.3
Campagna 2009	07/02/09 02/04/09	2.0	27	55	28	18	1.7
Campagna 2009-2010	24/06/09 23/02/10	2.9	30.6	46.8	-	-	4.1
Centralina Fissa 2010	22/02/10 31/12/10	0.8	25	61	21.3*	14*	1*

Monitoraggi	Periodo	Benzene [µg/m^3]	NO_2 [µg/m^3]	O_3 [µg/m^3]	PM_{10} [µg/m^3]	$PM_{2.5}$ [µg/m^3]	SO_2 [µg/m^3]
Centralina Fissa 2011	01/01/11 31/12/11	0.8	39	55	27	19	2.3
Centralina Fissa 2012	10/07/12 13/08/12	-	16	78	25.6	14.7	1.9

Tabella 7.10. Valori medi delle concentrazioni degli inquinanti gassosi e del particolato fine
**da Giugno 2010*

Occorre premettere che in nessun caso è possibile effettuare rigorosi confronti dei valori rilevati con i valori limite di legge, mancando la copertura temporale dei dati necessaria. Tuttavia i valori rilevati possono fornire un quadro abbastanza completo delle tendenze in atto, ovvero consentono di effettuare una stima sulla probabilità che gli stessi valori limite di legge siano o meno superati.

Si è ritenuto significativo, per avere un unico risultato conclusivo, effettuare le medie delle concentrazioni degli inquinanti rilevati nelle due campagne, e successivamente confrontarle con le concentrazioni degli stessi inquinanti rilevati dalle centraline della rete automatica regionale di monitoraggio della qualità dell'aria presenti a Roma e nella provincia di Roma.

Stazione	NO_2 [µg/m^3]	O_3 [µg/m^3]	PM_{10} [µg/m^3]	$PM_{2.5}$ [µg/m^3]	SO_2 [µg/m^3]
Malagrotta	**27.0**	**52.5**	**25.5**	**17.5**	**2.0**
Preneste	50.5	27.0	37.0		
Francia	79.5		42.0	23.5	
Magna Grecia	80.5		36.0		
Cinecitta	52.5	30.0	35.0		
Colleferro_Oberdan	47.0	23.5			0.7
Colleferro_Europa	40.5		40.5		0.9
Allumiere	9.0		13.0		0.9
Civitavecchia	24.5		22.5		1.1
Guidonia	34.5		30.0		0.4
Segni	26.0	31.5			0.9
Villa Ada	43.0	27.0	26.0	18.0	1.1
Guido	19.5	50.0			
Cavaliere	35.0	27.5			
Ciampino	45.0		37.5		
Fermi	81.0		40.5		
Bufalotta	54.5	23.0	30.0		1.1
Cipro	65.5	26.0	30.5	19.0	
Tiburtina	64.0		43.5		
Arenula	66.0		34.0	18.0	
Fontechiari	9.5	47.0	25.0	17.5	0.6

Tabella 7.11. Medie delle concentrazioni rilevate nel periodo delle due campagne di Malagrotta (2008-2009)

Si deve tener conto che le medie elaborate si riferiscono a campagne periodiche, con durata temporale limitata, per cui non direttamente confrontabili con i limiti di legge (medie annue), ma si ritengono allo stesso modo significative nel fornire elementi utili alla caratterizzazione della qualità dell'aria nella zona di indagine.

Dall'analisi dei dati emerge che per i diversi parametri rilevati i valori della stazione di Malagrotta risultano essere intermedi tra quelli registrati dalle stazioni di fondo (rurale/urbana) e le stazioni rappresentative di aree residenziali a diverso grado di antropizzazione. Per quanto riguarda la concentrazione media dell'ozono, si osservi che è confrontabile con il risultato della stazione di fondo rurale sita a Castel di Guido; tali valori sono indicativi di un'area con basso impatto antropico.

Il grafico successivo mette subito in risalto la posizione dei risultati delle campagne di Malagrotta rispetto ai valori registrati (nello stesso periodo delle campagne in esame), dalle centraline della rete automatica regionale di monitoraggio della qualità dell'aria. Malagrotta ricade nel primo quadrante delimitato dalle rette (in rosso) rappresentanti il limite annuo di PM_{10} e NO_2 secondo il D.Lgs 155/2010.

Confronto Campagne Malagrotta – Centraline Rete Regionale

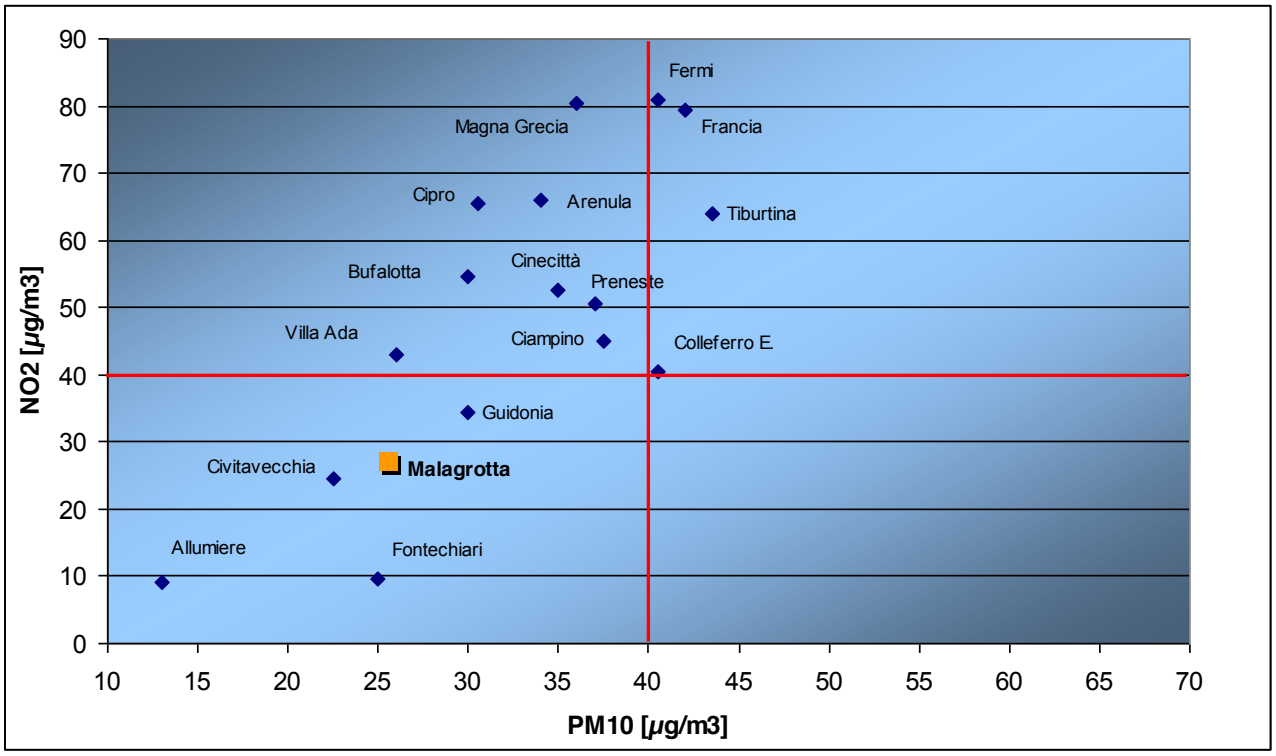


Grafico 7.2. Valori medi registrati nei periodi delle due campagne eseguite a Malagrotta

Nel grafico successivo si raffigura la media dei valori registrati nell'intero periodo 2008 e 2009 delle centraline della rete automatica regionale di monitoraggio della

qualità dell'aria per valutare la sovrapponibilità dei monitoraggi di periodo con quelli annuali.

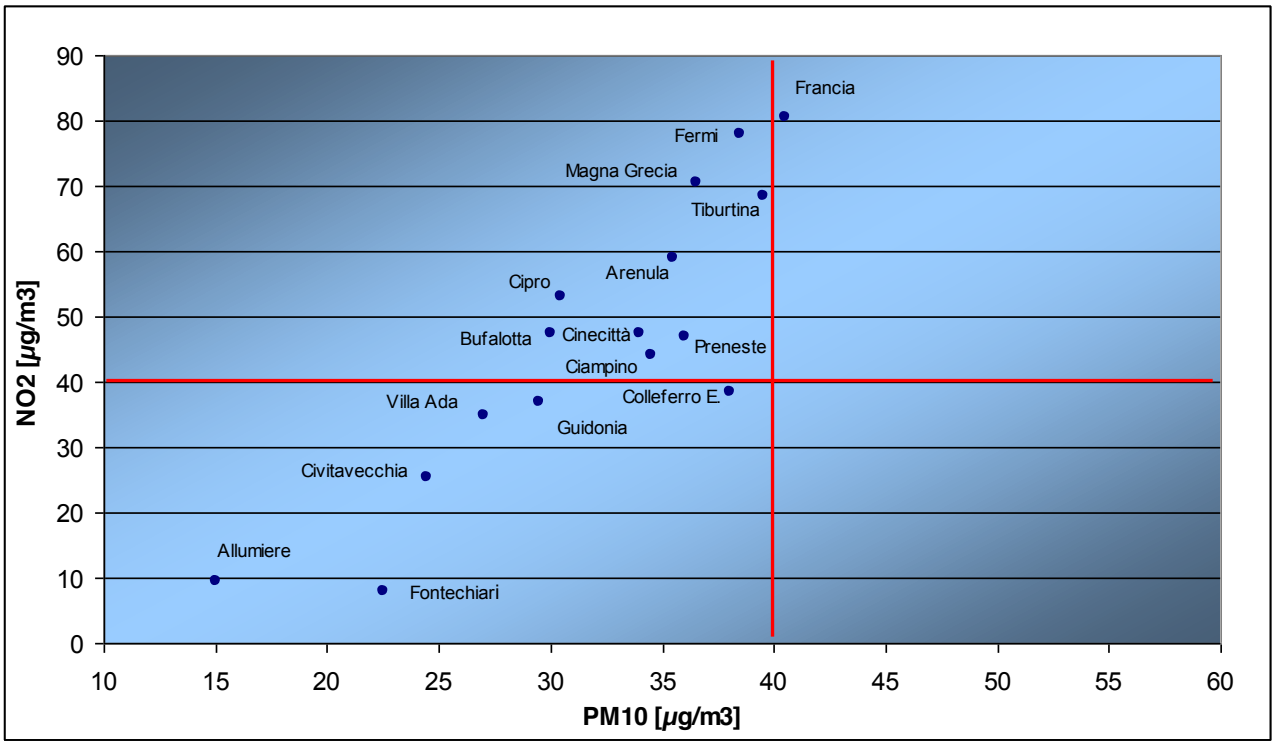


Grafico 7.3. Media dei valori registrati nel 2008 e nel 2009

Appare chiaro che le medie di periodo sono alquanto rappresentative delle medie annuali visto che le centraline che ricadono nel primo quadrante del grafico 2.1 si ritrovano, nel grafico 2.2, sempre nel primo quadrante, per cui anche la caratterizzazione dell'area di Malagrotta, in termini di PM_{10}-NO_2, può ritenersi contenuta nei limiti di legge. Nei grafici precedenti si è scelto di raffigurare i parametri PM_{10} e NO_2 in quanto si ritengono maggiormente rappresentativi dell'inquinamento provocato dalle attività industriali, dagli impianti di combustione e dal traffico veicolare, attività connesse ad un impianto di smaltimento dei rifiuti.

Per ognuna delle due campagne eseguite a Malagrotta è stato calcolato il numero dei superamenti degli inquinanti monitorati dalla centralina mobile e da alcune centraline della rete automatica di monitoraggio della qualità dell'aria regionale localizzate nel comune di Roma. I valori inerenti il PM_{10} risultano essere i più significativi: la media dei superamenti rilevati a Malagrotta è pari a 2 che risulta essere il valore più basso rispetto ai risultati registrati dalle altre stazioni considerate, compresa la stazione di fondo urbano posta a Villa Ada.

Stazione	Superamenti PM_{10}
Malagrotta	**2**
Villa Ada	3
Bufalotta	4
Cipro	6
Cinecitta	9
Magna Grecia	10
Preneste	15
Fermi	15
Tiburtina	19
Francia	21

Tabella 7.12. Media dei superamenti del PM_{10} nei periodi delle due campagne effettuate a Malagrotta

- Idrogeno Solforato - H_2S

Nella campagna eseguita nel 2008 è stato monitorato l'H_2S; si registrano livelli medi nel periodo pari a 1,7 µg/m^3 decisamente inferiore dal valore di 150 µg/m^3 fissato dall'OMS nelle linee guida sulla qualità dell'aria. Sono stati registrati, nel periodo della campagna, diversi superamenti del livello di 7 µg/m^3 (soglia olfattiva) variamente distribuiti nell'arco della giornata.

- *IPA e Metalli*

Durante le campagne eseguite a Malagrotta dall'ARPA Lazio nel 2008 e nel 2009 sono state misurate su filtri in fibra di vetro le concentrazioni degli Idrocarburi Policiclici Aromatici. Di seguito si mostrano le medie del benzo(a)pirene (l'unico tra gli IPA per cui la normativa attualmente vigente prevede un limite da rispettare pari a 1 ng/m^3). Le concentrazioni medie determinate nei due periodi delle campagne hanno evidenziato valori di b(a)p a Malagrotta inferiori a quelli rilevati nelle centraline di Roma nello stesso periodo.

Benzo(a)pirene [ng/m^3]	**Malagrotta**	**Corso Francia**	**Villa Ada**
Campagna 2008	0.24	0.37	0.31
Campagna 2009	0.32	0.66	0.36

Tabella 7.13. Concentrazioni medie rilevate nei periodi di campagna

Di seguito è riportato il confronto delle concentrazioni medie dei metalli (piombo, cadmio, arsenico e nichel) rilevate nella stazione mobile sita a Malagrotta con quelle rilevate nelle stazioni di Villa Ada e Corso Francia a Roma, nei periodi delle due campagne di monitoraggio; i valori ottenuti risultano inferiori ai limiti/valori obiettivo riportati dal D.Lgs 155/2010.

Stazione	Pb [μg/m³]	Cd [ng/m³]	As [ng/m³]	Ni [ng/m³]
Limite/valore obiettivo annuo	*0.5*	*5*	*6*	*20*
Malagrotta	0.007	0.2	0.5	2.1
Villa Ada	0.009	0.2	0.6	2.2
Francia	0.012	0.2	1.0	4.3
Malagrotta 2012	0.002	0.1	0.3	2.2

Tabella 7.14. Concentrazioni medie di metalli rilevati durante i periodi delle campagne

- *Sostanze Organiche Volatili e Aldeidi*

L'impiego di campionatori passivi e la loro successiva analisi in laboratorio ha reso possibile la determinazione della concentrazione in aria di una serie di sostanze. Nelle tabelle che seguono sono riportati i valori misurati a Malagrotta e, per un confronto con la situazione che si riscontra a Roma, i valori misurati con la stessa tecnica e nel medesimo periodo a Cinecittà. Come si può notare la presenza di queste sostanze nelle due località è di paragonabile entità.

Nelle Tabelle seguenti sono riportate, rispettivamente, le medie delle concentrazioni delle sostanze organiche volatili e le medie delle aldeidi rilevate nei due periodi delle campagne.

Media Campagne 2008 - 2009		
Inquinante [μg/m3]	**Cinecittà**	**Malagrotta**
1.1.1-Tricloroetano	<0.1	<0.1
Acetonitrile	1.0	1.3
Alfa-Pinene	<0.1	0.2
Benzene	**1.7**	**1.4**
Butile acetato	0.3	0.4
Canfora	0.2	0.3
Cloruro di vinile	<0.1	<0.1
Etile acetato	0.4	0.3
Limonene	0.3	<0.1
M+P-Xilene	3.8	1.9
Metil eti chetone	0.3	0.4
O-Xilene	0.9	1.0
Tetracloroetilene	0.9	0.3
Toluene	5.3	3.1
Tricloroetilene	<0.1	<0.1

Tabella 7.15. Medie della concentrazione di SOV a Malagrotta e Roma/Cinecittà (2008-2009)

Inquinante [µg/m^3]	Campagna 2009-2010
Benzene	**2.9**
Toluene	4.9
Etilbenzene	1.0
O-Xilene	0.9
M-Xilene	2.6
P-Xilene	1.0

Tabella 7.16. Medie della concentrazione di SOV a Malagrotta (2009-2010)

La normativa vigente prevede un valore limite solo per la concentrazione media annua del Benzene pari a 5 µg/m^3

Media Campagne 2008 - 2009		
Inquinante [µg/m^3]	**Cinecittà**	**Malagrotta**
Acetaldeide	2.37	1.94
Benzaldeide	0.20	0.15
Formaldeide	2.91	2.26

Tabella 7.17. Medie delle concentrazioni di aldeidi a Malagrotta e Cinecittà (2008-2009)

- Policlorobifenili (PCB)

I PCB sono stati determinati presso il sito di Malagrotta in tre diversi campionamenti nel periodo estivo 2008. I livelli medi variano per i PCB totali tra 7,6 e 29 pg/m^3. Valori mediamente più alti sono stati registrati nello stesso periodo presso il sito di Cinecittà (da 18,3 a 48 pg/m3). Nell'autunno 2008 è stata effettuata un'altra campagna con risultati analoghi: PCB totali a Malagrotta 1,0 – 3,7 pg/m^3; PCB totali a Cinecittà 18 pg/m^3.

Di seguito, invece, si espongono le medie dei PCB ottenute durante l'ultima campagna di monitoraggio eseguita dal 10 luglio al 13 agosto 2012.

PCB [pg/m^3]	Medie
28	22.3
52	16.1
81	< 0.05
77	< 0.05
95	10.4
99	2.9
101	8.4
110	6.5

PCB [pg/m^3]	Medie
118	3.8
105	1.7
126	0.3
151	2.1
149	6.4
146	0.6
153	6.1
138	4.1
167	0.3
156	< 0.1
187	2.0
183	0.8
177	0.5
180	2.4
170	0.9
189	< 0.05
PCB totali	**98.6**
PCB-7	**63.3**

Tabella 7.18. Medie delle concentrazioni dei PCB ottenute dalla campagna di Malagrotta 2012

Allo scopo di permettere un primo confronto orientativo circa i livelli di concentrazione rilevati nell'area di studio, si riporta una sintesi dei livelli riscontrati in diverse campagne sperimentali condotte in aree urbane.

Location and Year	PCB-7 Concentration Average (Min - Max) [pg/m3]	Reference
Sofiensbergparken, 2007	31,8 (15,3 - 61,9)	This study
Sjursjøya, 2002	54	Berrevik et al.
Athens, 2000	41,7	Mandalakis et al. 2002
Seoul, 1999	42,2	Yeo et al. 2004

Tabella 7.19. Confronto della concentrazione di PCB-7 in campioni di aria urbana prelevati in differenti città.

Si osservi che nell'area in esame la concentrazione media dei PCB–7 (ottenuta dalla somma dei 7 congeneri definiti ad "alta tossicità" : 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) risulta pari a 63.3 pg/m^3 (1 picogrammo=10^{-6} microgrammo) tale valore è del tutto confrontabile con i livelli di PCB-7 rilevati nelle aree urbane sopra citate e relativi a stazioni di monitoraggio in ambiente urbano/industriale ad elavata intensità.

Si evidenzia che, i valori medi rilevati in letteratura sono relativi a rilievi fatti su diverse postazioni ubicate in zone con livelli di pressione ambientale differenti e quindi rappresentativi delle diverse caratteristiche delle aree urbane. Il valore misurato nella campagna fa riferimento ad un'unica postazione e ad un periodo limitato dell'anno.

- Diossine

Le diossine sono state determinate presso il sito di Malagrotta nel periodo estivo del 2012. Di seguito si presentano le medie ottenute dai tre campioni rilevati durante la campagna.

Diossine [fg/m^3]	**Media di tutti i campioni**
2378-TCDD	1.1
12378-PeCDD	3.7
123478-HxCDD	2.8
123678HxCDD	5.4
123789-HxCDD	3.3
1234678-HpCDD	12.1
OCDD	16.0
2378-TCDF	11.7
12378-PeCDF	9.8
23478-PeCDF	7.3
123478-HxCDF	9.1
123678-HxCDF	7.5
234678-HxCDF	8.9
123789-HxCDF	3.9
1234678-HpCDF	24.0
1234789-HpCDF	3.0
OCDF	9.8
Teq	**12.8**

Tabella 7.20. Media della concentrazione di diossine ottenuta nella campagna di Malagrotta 2012
* fg= fentogrammi =10^{-9} microgrammi

Il livello di concentrazione di diossine espresso in Teq (tossicità equivalente) è stato calcolato mediante la tecnica del "medium bound" abitualmente utilizzata in ambito internazionale per valutare tali concentrazioni. Per un confronto indicativo circa i livelli di concentrazione di diossine rilevati nell'area di studio, si riporta una sintesi dei livelli riscontrati in diverse campagne sperimentali condotte in aree urbane.

Location and Year	Dioxin concentration Average, (Min. - Max.) [TE fg/m^3]	Reference
Sofienbergparken, 2007	28,2 (4,80 - 86,5)	This study
Vålerenga, 1989	100 (40/200)	Oehme et al. 1991
Athens, 2000	(42 – 73)	Mandalakis et al. 2002
Roma, 2001	46,9 (4,4 - 245)	Turno-Baldassarri et al. 2005
Beijing, 2006	268 (18 - 644)	Li et al. 2008

Tabella 7.21. Livelli di concentrazione di diossine in differenti città.

Dagli studi effettuati si evince che i Teq riscontrati nell'area in esame variano tra 2.7 – 18.9 fg/m^3 (1 fentogrammo=10^{-9} microgrammi) e risultano confrontabili con i valori minimi osservati negli studi sopra citati.

7.3 Termovalorizzatori

In analogia a quanto riportato nei paragrafi precedenti, nel seguito sono analizzati i livelli di concentrazione degli inquinanti rilevati durante le campagne sperimentali a supporto dell'analisi modellistica ed epidemiologica delle aree dove sono in esercizio i termovalorizzatori.

Per completezza di analisi, rispetto al ciclo di termovalorizzazione dei rifiuti della regione Lazio, si riportano anche i risultati delle attività sperimentali condotte nell'area del gassificatore di rifiuti urbani sito a Malagrotta. Tale impianto, pur essendo significativo dal punto di vista dell'analisi dell'impatto ambientale, di fatto contribuisce in modo assolutamente marginale allo studio epidemiologico che si riferisce al periodo di osservazione 1996-2008 mentre l'esercizio dell'impianto è iniziato sostanzialmente nel 2009.

A partire dal 2004 la centralina mobile è stata posizionata nell'area del comune di San Vittore del Lazio per periodi di campionamento di 15 giorni totalizzando un numero di 12 campagne periodiche fino al 2011. Nella zona di Malagrotta, sono state condotte, 3 campagne sperimentali rispettivamente, dal 13 giugno al 4 dicembre del 2008, dal 7 febbraio al 2 aprile del 2009 e dal 10 luglio al 13 agosto del 2012. Inoltre da febbraio 2010 l'area è monitorata da una centralina fissa della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria. Il territorio del comune di Colleferro, è monitorato da diversi anni da una centralina fissa appartenente alla rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria per cui giornalmente vengono registrate le concentrazione al suolo delle principali sostanze inquinanti (biossido di zolfo, biossido di azoto, monossido di carbonio, PM_{10} e ozono). Di seguito vi è una tabella riassuntiva del periodo di monitoraggio delle campagne eseguite dall'ARPA Lazio.

Territorio	Impianto	Periodo delle campagne
Malagrotta	Gassificatore	2008-2009-2012
San Vittore del Lazio	Termovalorizzatore	2004-2011
Colleferro	2 Termovalorizzatori	2008-2010

Tabella 7.22. Periodo di monitoraggio e localizzazione delle campagne sperimentali eseguite

Durante le campagne, realizzate con un laboratorio di misura mobile, sono stati monitorati i seguenti parametri: SO_2, NO_2, CO, PM_{10}, O_3, HCl, HF, diossine, PCB, metalli

e IPA su particolato atmosferico. Di seguito si espongono le medie complessive delle campagne.

Si deve tener conto che le medie elaborate si riferiscono a campagne periodiche, con durata temporale limitata, per cui non direttamente confrontabili con i limiti di legge (medie annue), ma si ritengono allo stesso modo significative nel fornire elementi utili alla caratterizzazione della qualità dell'aria nella zona di indagine.

Tutti i dati riguardanti le singole campagne di misura sono raccolti nei report di dettaglio disponibili in allegato all'appendice.

- *Inquinanti Gassosi e Particolato Fine*

Stazione	**NO_2 [µg/m^3]**	**PM_{10} [µg/m^3]**	**SO_2 [µg/m^3]**
Limite annuo	*40*	*40*	*20**
Malagrotta	27.0	25.5	2.0
Colleferro	37.0	37.0	0.8
San Vittore del Lazio	25.5	31.3	3.9

Tabella 7.23. Concentrazioni medie complessive degli inquinanti rilevati nelle campagne
* Limite per la protezione degli ecosistemi

Come si può desumere dalla tabella precedente, l'area monitorata attorno ai termovalorizzatori, non presenta superamenti dei valori degli inquinanti maggiormente indicativi. Si è ritenuto, inoltre, significativo effettuare un confronto tra le medie annuali delle centraline regionali (2008-2010) e le medie finali delle campagne (grafico 7.4). Come si può osservare dal grafico successivo i territori comprendenti gli impianti di termovalorizzazione ricadono nel quadrante che rispetta i limiti normativi vigenti (si veda tavola 3).

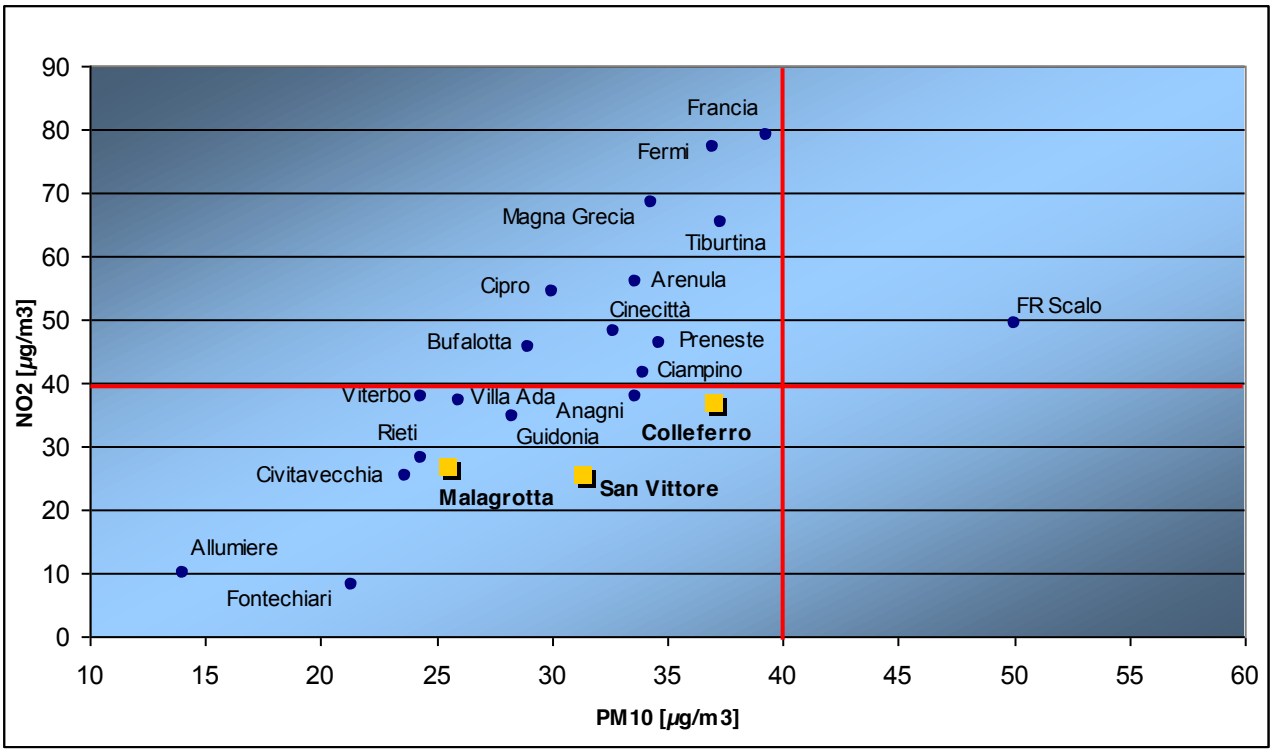


Grafico 7.4. Confronto tra le medie annuali delle centraline regionali (2008-2010) e le medie finali delle campagne.

- *Metalli e IPA*

Di seguito si mostrano le medie, ottenute nelle campagne di monitoraggio, dei soli inquinanti per cui la normativa attualmente vigente prevede un limite da rispettare. Come si può osservare le concentrazioni medie sono inferiori ai limiti stabiliti dal D.Lgs 155/2010 per i metalli, mentre il benzo(a)pirene rilevato a Colleferro è di poco inferiore al limite obbiettivo previsto. Su questa stazione e sulle altre il monitoraggio dei microinquinanti è mantenuto costante in modo da verificare e analizzare correttamente i diversi trend ed evoluzioni.

Stazione	**Pb** [ug/m³]	**Cd** [ng/m³]	**As** [ng/m³]	**Ni** [ng/m³]	**Benzo(a)pirene** [ng/m³]
Limite - Valore Obiettivo	*0.5*	*5*	*6*	*20*	*1*
Malagrotta	0.007	0.2	0.5	2.1	0.3
Colleferro	0.007	0.2	0.6	1.7	0.9
San Vittore del Lazio	0.006	0.3	0.4	2.2	0.1

Tabella 7.24. Concentrazioni medie di periodo

I valori medi di concentrazione rilevati per i diversi metalli, risultano in generale confrontabili con quelli osservati durante le attività di monitoraggio condotte presso stazioni di misura urbana nella città di Roma.

- *Diossine*

Nelle ultime campagne di monitoraggio (2011-2012) in prossimità degli impianti di termovalorizzazione dei rifiuti di San Vittore del Lazio e di Malagrotta sono state rilevate le concentrazioni delle diossine; le medie sono esposte nella tabella successiva.

DIOSSINE [fg/m3]*	**Malagrotta**	**San Vittore del Lazio**
2378-TCDD	1.1	1.3
12378-PeCDD	3.7	4.0
123478-HxCDD	2.8	16.9
123678HxCDD	5.4	5.4
123789-HxCDD	3.3	5.8
1234678-HpCDD	12.1	18.5
OCDD	16.0	49.6
2378-TCDF	11.7	4.0
12378-PeCDF	9.8	3.4
23478-PeCDF	7.3	6.4
123478-HxCDF	9.1	8.1
123678-HxCDF	7.5	6.8
123789-HxCDF	8.9	10.4
234678-HxCDF	3.9	5.3
1234678-HpCDF	24	24.3
1234789-HpCDF	3.0	4.9
OCDF	9.8	39.7
Teq	**12.8**	**14.2**

Tabella 7.25. Media della concentrazione di diossine ottenuta nelle campagne di Malagratta e di San Vittore del Lazio. * fg= fentogrammi =10^{-9} microgrammi

Il livello di concentrazione di diossine espresso in Teq (tossicità equivalente) è stato calcolato mediante la tecnica del "medium bound" abitualmente utilizzata in ambito internazionale per valutare tali concentrazioni. Per un confronto indicativo circa i livelli di concentrazione di diossine rilevati nell'area di studio, si riporta una sintesi dei livelli riscontrati in diverse campagne sperimentali condotte in aree urbane.

Location and Year	Dioxin concentration Average, (Min. - Max.) [TE fg/m³]	Reference
Sofiemberganken, 2007	28.2 (4.80 - 86.5)	This study
Vällerenga, 1989	100 (40/200)	Oehme et al. 1991
Athens, 2000	(42 – 73)	Mandalakis et al. 2002
Roma, 2001	46.9 (4.4 - 245)	Turno-Baldassarri et al. 2005
Beijing, 2006	268 (18 - 644)	Li et al. 2008

Tabella 7.26. Livelli di concentrazione di diossine in differenti città.

Dagli studi effettuati si evince che i Teq riscontrati nelle aree in esame risultano confrontabili con i valori minimi osservati negli studi sopra citati.

- Policlorobifenili (PCB)

Durante le ultime campagne di monitoraggio effettuate a Malagrotta ed a San Vittore del Lazio è stata rilevata anche la concentrazione dei policlorobifenili, di seguito si espongono le medie ottenute.

PCB [pg/m^3]*	**Malagrotta**	**San Vittore del Lazio**
28	22.3	33.4
52	16.1	17.8
81	< 0.05	<0.2
77	< 0.05	<0.2
95	10.4	20.2
101	8.4	16.5
110	6.5	7.4
118	3.8	3.6
105	1.7	1
151	2.1	7.3
149	6.4	15.4
146	0.6	1.5
153	6.1	14.4
138	4.1	6.6
167	0.3	0.3
187	2	3.5
183	0.8	1.7
177	0.5	1.1
180	2.4	3.1
170	0.9	1.2
189	< 0.05	0.5
PCB tot	**98.6**	**156.4**
PCB-7	**63.3**	**95.3**

Tabella 7.27. Media della concentrazione dei PCB ottenuta nelle campagne di Malagratta e di San Vittore del Lazio. *(1 picogrammo=10^{-6} microgrammo)

Allo scopo di permettere un primo confronto orientativo circa i livelli di concentrazione rilevati nell'area di studio, si riporta una sintesi dei livelli riscontrati in diverse campagne sperimentali condotte in aree urbane.

Location and Year	PCB-7 Concentration Average, (Min. - Max.) [pg/m3]	Reference
Sofienbergparken, 2007	31,8 (15,3 - 61,9)	This study
Sjursøya, 2002	54	Berrink et al.
Athens, 2000	41,7	Mandalakis et al. 2002
Seoul, 1999	42,2	Yeo et al. 2004

Tabella 7.28. Confronto della concentrazione di PCB in campioni di aria urbana prelevati in differenti luoghi.

Si osservi che nelle aree in esame la concentrazione media dei PCB–7 (ottenuta dalla somma dei 7 congeneri definiti ad "alta tossicità" : 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) conferma l'ordine di grandezza rilevato negli studi di letteratura in aree a forte antropizzazione.

Si evidenzia che, i valori medi rilevati in letteratura sono relativi a rilievi fatti su diverse postazioni ubicate in zone con livelli di pressione ambientale differenti e quindi rappresentativi delle diverse caratteristiche delle aree urbane. Il valore misurato nella campagna fa riferimento ad un'unica postazione e ad un periodo limitato dell'anno.

7.4 Trattamento Meccanico Biologico

Gli impianti di trattamento meccanico biologico (TMB) considerati nello studio sono sette, di cui due situati nell'area adiacente alla discarica di Malagrotta, l'impianto di Casale Bussi (VT) è collocato ad una distanza di circa 8 km dalla discarica provinciale di rifiuti urbani, l'impianto di Albano è adiacente alla discarica mentre i restanti impianti si trovano in aree non sovrapposte a quelle individuate dal complesso di impianti di trattamento dei rifiuti urbani. In tal senso, la maggior parte delle considerazioni circa i livelli di inquinamento e la qualità dell'aria effettuate per le aree interessate dalle discariche sono significative anche per i TMB.

Nell'ambito delle attività a supporto dell'indagine epidemiologica e anche con riferimento alle diverse esigenze di caratterizzazione della qualità dell'aria di ambiti territoriali della regione Lazio, l'ARPA ha condotto campagne sperimentali con mezzi mobili e centraline rilocabili. In particolare, nella zona di Malagrotta sono state condotte tre campagne sperimentali rispettivamente, dal 13 giugno al 4 dicembre del 2008, dal 7 febbraio al 2 aprile del 2009 e dal 10 luglio al 13 agosto 2012 ed inoltre da febbraio 2010 il territorio di Malagrotta è monitorato da una centralina fissa della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria. Nella zona di Albano è stata eseguita una campagna sullo stato della qualità dell'aria nel periodo tra il 25 novembre 2009 e il 18 febbraio 2010 ed infine, nel territorio di Monterazzano (VT) l'ARPA Lazio ha realizzato dal 09 dicembre 2011 al 09 gennaio 2012, una campagna di monitoraggio per valutare gli eventuali impatti dell'impianto sulla qualità dell'aria.

Territorio	Impianto	Periodo delle campagne
Malagrotta (RM)	2 TMB	2008-2009-2012
Albano (RM)	TMB	2009-2010
Casale Bussi (VT)	TMB	2011-2012

Tabella 7.29. Periodo di monitoraggio e localizzazione delle campagne sperimentali eseguite

Durante le campagne sperimentali, sono stati monitorati i seguenti inquinanti: SO_2, NO_2, CO, PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, sostanze organiche volatili, diossine, policlorobifenili, aldeidi, metalli e IPA (idrocarburi policiclici aromatici). Per contribuire alla valutazione degli indici di esposizione della popolazione che vive in prossimità degli impianti, sono

analizzate nel seguito i livelli di concentrazione media rilevati durante le campagne da mettere in confronto con quanto registrato dalla rete regionale di monitoraggio.

Si deve tener conto che le medie elaborate si riferiscono a campagne periodiche, con durata temporale limitata, per cui non confrontabili con i limiti di legge (medie annue), ma si ritengono allo stesso modo significative nel fornire elementi utili alla caratterizzazione della qualità dell'aria nella zona di indagine.

Tutti i dati riguardanti le singole campagne di misura sono raccolti nei report di dettaglio disponibili in allegato all'appendice.

- *Inquinanti Gassosi e Particolato Fine*

Come si può evincere dalla tabella seguente, l'area monitorata attorno ai TMB non presenta valori superiori ai limiti normativi vigenti.

Campagna	**NO_2** [µg/m^3]	**SO_2** [µg/m^3]	**PM_{10}** [µg/m^3]	**$PM_{2.5}$** [µg/m^3]
Limite annuo	*40*	*20*	*40*	*25*
Campagna Malagrotta	27	2.0	25.5	14.7*
Campagna Albano	21	1.5	22.0	17
Campagna Viterbo	11	0.9	14.4	9.1

Tabella 7.30. Concentrazioni medie complessive degli inquinanti rilevati nelle campagne
*Concentrazione ottenuta nella campagna 2012

Si è ritenuto significativo effettuare un confronto con le concentrazioni rilevate dalle centraline della rete automatica regionale di monitoraggio della qualità dell'aria presenti a Roma, nella provincia di Roma a Viterbo ed a Civita Castellana, scelte secondo un criterio di rappresentatività spaziale e di specifica caratteristica della stazione di rilevamento.

In particolare, nel grafico successivo, sono confrontati i livelli di concentrazione media di PM_{10} e NO_2 in quanto rappresentativi dell'inquinamento prodotto dalle attività industriali, dagli impianti di combustione e dal traffico veicolare; attività connesse ad un impianto di smaltimento dei rifiuti.

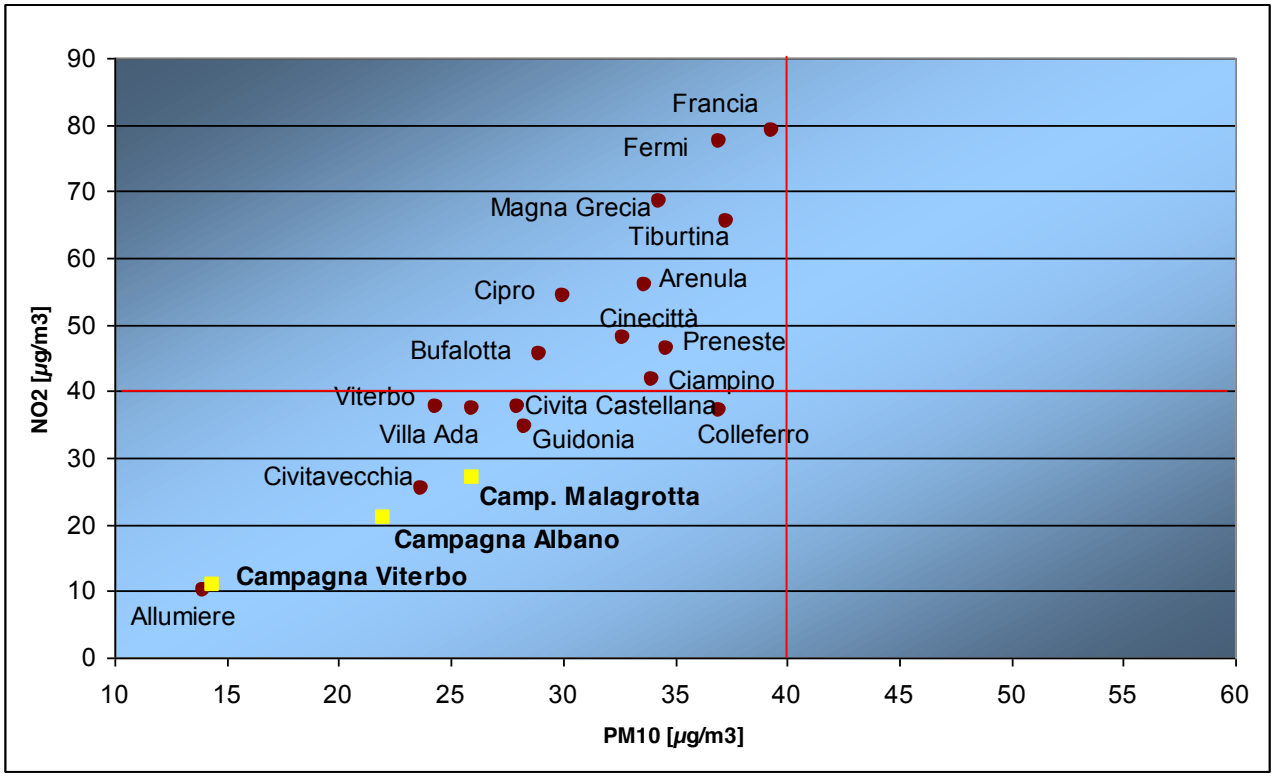


Grafico 7.5. Confronto tra le medie annuali di NO_2 e PM_{10} delle centraline regionali (2008-2010) con le medie delle campagne effettuate dall'ARPA Lazio.

Si osserva che i livelli medi di concentrazione rilevati in prossimità degli impianti di TMB ricadono nel quadrante che indica valori inferiori ai limiti previsti. Inoltre, le aree in osservazione mostrano livelli di qualità dell'aria generalmente confrontabili con aree a media intensità urbanistica e non nelle immediate vicinanze di trafficate arterie stradali.

- *Metalli e IPA*

Di seguito si mostrano i risultati dei soli metalli e IPA per cui la normativa attualmente vigente prevede un *limite/valore obiettivo* di riferimento. Tali medie sono state confrontate con le corrispettive concentrazioni rilevate nelle stazioni di Villa Ada e Corso Francia a Roma negli stessi periodi della campagna di Malagrotta e di Albano. Come si può osservare le concentrazioni medie ottenute dalle campagne in esame risultano dello steso ordine o inferiori a quelle rilevate dalle centraline fisse site a Villa Ada ed a Corso Francia che a loro volta sono minori dei limiti stabiliti dal D.Lgs 155/2010.

Stazione	Pb [ug/m³]	Cd [ng/m³]	As [ng/m³]	Ni [ng/m³]	Benzo(a)pirene [ng/m³]
Limite - Valore Obiettivo	*0.5*	*5*	*6*	*20*	*1*
Malagrotta	**0.007**	**0.2**	**0.5**	**2.1**	**0.28**
Villa Ada	0.009	0.2	0.6	2.2	0.34
Francia	0.012	0.2	1.0	4.3	0.52
Albano	**0.006**	**0.2**	**0.3**	**1.3**	**0.82**
Villa Ada	0.011	0.2	0.5	2.2	1.03
Francia	0.012	0.2	0.6	3.6	
Viterbo	**0.0005**	**0.1**	**0.3**	**1.5**	**0.04**

Tabella 7.31. Concentrazioni medie di metalli rilevati durante i periodi delle campagne

- *Sostanze Organiche Volatili e Aldeidi*

L'impiego di campionatori passivi e la loro successiva analisi in laboratorio ha reso possibile la determinazione della concentrazione in aria di una serie di sostanze rappresentative di forme d'inquinamento connesse a processi industriali, a combustione ed eventuali fenomeni di origine odorigena. Nelle tabelle che seguono sono riportati i valori misurati nelle campagne in esame e, per un confronto, i valori misurati a Cinecittà con la stessa tecnica e nel medesimo periodo delle campagne di Malagrotta e di Albano. Come si può notare la presenza di queste sostanze nelle diverse località è di paragonabile entità.

Inquinante [µg/m³]	**Malagrotta**	**Cinecittà**	**Albano**	**Cinecittà**	**Viterbo**
1.1.1-Tricloroetano	<0.1	<0.1	0.2	0.2	-
Acetonitrile	1.3	1.0	0.9	0.8	3.55
Alfa-Pinene	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.01
Benzene	**1.4**	**1.7**	**1.3**	**3.0**	**0.59**
Butile acetato	0.4	0.3	0.3	0.8	0.07
Canfora	0.3	0.2	<0.1	<0.1	0.01
Cloruro di vinile	<0.1	<0.1	-	-	-
Etile acetato	0.3	0.4	0.2	0.5	0.15
Limonene	<0.1	0.3	0.3	0.9	0.37
M+P-Xilene	1.9	3.8	0.9	3.2	0.25
Metil etil chetone	0.4	0.3	0.3	0.5	0.28
O-Xilene	1	0.9	0.4	1.1	0.09
Tetracloroetilene	0.3	0.9	0.3	0.9	0.09
Toluene	3.1	5.3	1.6	4.6	0.55
Tricloroetilene	<0.1	<0.1	0.2	0.1	0.07

Tabella. 7.32. Medie della concentrazione delle SOV.

I livelli di concentrazione di benzene (inferiori al limite di 5 μg/m^3) sono indicativi della differente collocazione territoriale delle aree in studio, in particolare Malagrotta e Cinecittà sono in contesti a significativa area antropica mentre Viterbo collocata in un contesto extra-urbano a scarsa circolazione veicolare.

Aldeidi [μg/m^3]	**Malagrotta**	**Cinecittà**	**Albano**	**Cinecittà**	**Viterbo**
Formaldeide	2.26	2.91	2.5	2.3	1.96
Acetaldeide	1.94	2.37	1.2	1.6	1.49
Butirraldeide	-		-	-	1.02
Benzaldeide	0.15	0.20	-	-	0.12

Tabella 7.33. Medie delle concentrazioni delle aldeidi.

Le aldeidi sono composti caratteristici sia di fenomeni odorigeni che precursori attivi nei processi di formazione dello smog fotochimico (O_3-NO_2). La generale uniformità dei livelli rilevati nelle diverse stazioni, è indicativa della stazionarietà e persistenza di tali composti in atmosfera.

- *Policlorobifenili (PCB)*

I PCB sono stati determinati presso il sito di Malagrotta in tre diversi campionamenti nel periodo estivo 2008. I livelli medi variano per i PCB totali tra 7,6 e 29 pg/m^3 (1 picogrammo=10^{-6} microgrammo). Valori mediamente più alti sono stati registrati nello stesso periodo presso il sito di Cinecittà (da 18,3 a 48 pg/m^3). Nell'autunno 2008 è stata effettuata un'altra campagna con risultati analoghi: PCB totali a Malagrotta 1,0 – 3,7 pg/m^3; PCB totali a Cinecittà 18 pg/m^3.
Nelle ultime campagne di monitoraggio (2011-2012) eseguite a Malagrotta ed a Viterbo sono state ricavate le medie delle concentrazioni dei PCB esposte nella tabella successiva insieme insieme ai valori di PCB totali e PCB-7.

PCB [pg/m^3]	**Malagrotta**	**Viterbo**
28	22.3	4.8
52	16.1	2.6
81	< 0.05	<0.05
77	< 0.05	<0.05
95	10.4	1.3
101	8.4	1.2
110	6.5	0.6
118	3.8	1.0
105	1.7	0.2

PCB [pg/m^3]	Malagrotta	Viterbo
151	2.1	0.3
149	6.4	0.7
146	0.6	<0.05
153	6.1	0.8
138	4.1	0.5
167	0.3	<0.05
187	2	0.2
183	0.8	0.1
177	0.5	0.1
180	2.4	0.4
170	0.9	0.1
189	< 0.05	0.2
PCB tot	**98.6**	**15.1**
PCB-7	**63.3**	**11.4**

Tabella 7.34. Medie delle concentrazioni dei PCB rilevati durante la campagna di Viterbo e di Malagrotta 2012

Allo scopo di permettere un primo confronto orientativo circa i livelli di concentrazione rilevati nelle aree di studio, si riporta una sintesi dei livelli riscontrati in diverse campagne sperimentali condotte in aree urbane.

Location and Year	PCB-7 Concentration Average, (Min. - Max.) [pg/m3]	Reference
Sofienbergparken, 2007	31,8 (15,3 - 61,9)	This study
Sjursjøya, 2002	54	Berrevik et al.
Athens, 2000	41,7	Mandalakis et al. 2002
Seoul, 1999	42,2	Yeo et al. 2004

Tabella 7.35. Confronto della concentrazione di PCB in campioni di aria urbana prelevati in differenti luoghi (1 picogrammo=10^{-6} microgrammo).

.

Si osservi che nelle aree in prossimità dei TMB di Malagrotta la concentrazione media dei PCB–7 (ottenuta dalla somma dei 7 congeneri definiti ad "alta tossicità" : 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) risulta confrontabile con i livelli dei PCB-7 di letteratura, rilevati nelle aree urbane sopra citate mentre le concentrazioni rilevate a Viterbo risultano essere leggermente inferiori.

- Diossine

Nelle ultime campagne di monitoraggio della qualità dell'aria (2011-2012) effettuate nei pressi degli impianti di trattamento meccanico e biologico di Viterbo e Malagrotta, è stata rilevata la concentrazione delle diossine; di seguito si espongono le medie ottenute da diversi campionamenti nei 2 differenti siti. Il livello di concentrazione di diossine espresso in Teq (tossicità equivalente) è stato calcolato mediante la tecnica del "medium bound" abitualmente utilizzata in ambito internazionale per valutare tali concentrazioni.

DIOSSINE [fg/m3]*	**Viterbo**	**Malagrotta**
2378-TCDD	0.6	1.1
12378-PeCDD	2.0	3.7
123478-HxCDD	2.8	2.8
123678HxCDD	2.7	5.4
123789-HxCDD	3.2	3.3
1234678-HpCDD	2.5	12.1
OCDD	17.4	16
2378-TCDF	2.1	11.7
12378-PeCDF	2.6	9.8
23478-PeCDF	3.1	7.3
123478-HxCDF	3.4	9.1
123678-HxCDF	2.5	7.5
123789-HxCDF	3.8	8.9
234678-HxCDF	2.2	3.9
1234678-HpCDF	5.7	24
1234789-HpCDF	3.6	3
OCDF	10.0	9.8
Teq	**5.7**	**12.8**

Tabella 7.36. Media della concentrazione di diossine
* fg= fentogrammi $=10^{-9}$ microgrammi

Per un confronto indicativo circa i livelli di concentrazione di diossine rilevati nelle aree di studio, si riporta una sintesi dei livelli riscontrati in diverse campagne sperimentali condotte in aree urbane.

Location and Year	Dioxin concentration Average, (Min. - Max.) [TE fg/m³]	Reference
Sofiemyrgunken, 2007	28,2 (4,80 - 86,5)	This study
Vällerenga, 1989	100 (40/200)	Oehme et al. 1991
Athens, 2000	(42 – 73)	Mandilaks et al. 2002
Roma, 2001	46,9 (4,4 - 245)	Turno-Baldassarri et al. 2005
Beijing, 2006	268 (18 - 644)	Li et al. 2008

Tabella 7.37. Livelli di concentrazione di diossine in differenti città.

Dagli studi effettuati si evince che i Teq riscontrati nei pressi dei TMB risultano confrontabili con i valori minimi osservati negli studi sopra citati.

8 Valutazione della qualità dell'aria

L'analisi per l'individuazione dell'impronta (footprint) degli impianti di trattamento rifiuti illustrata nella sezione dedicata alla metodologia è stata applicata a tutti i termovalorizzatori e le discariche operanti nel Lazio, ottenendo quindi, per ognuno di questi impianti, il relativo *footprint* su cui condurre le analisi epidemiologiche. Nei punti che seguono vengono presentati i dettagli di tutto ciò ed i risultati ottenuti.

8.1 Le informazioni meteorologiche utilizzate

Vista la complessità orografica del Lazio, per il calcolo della dispersione degli inquinanti in aria è stato necessario utilizzare un modello di simulazione non stazionario e tridimensionale in grado di trattare realisticamente sia le situazioni ad orografia complessa che le situazioni costiere. Un tale modello è molto esigente dal punto di vista meteorologico e ciò ha richiesto un uno sforzo notevole per generare i campi meteorologici e micrometeorologici necessari a pilotare le simulazioni di dispersione degli inquinanti, sostanzialmente i campi tridimensionali delle tre componenti cartesiane del vento, il campo della temperatura ed i campi delle principali variabili micrometeorologiche come la deviazione standard delle tre componenti del vento e relativi tempi Lagrangiani di scala. Tali informazioni non possono essere direttamente dedotte dalle misure realizzate nelle stazioni meteorologiche convenzionali poste al suolo, ma, al contrario, è necessaria una loro ricostruzione numerica ottenuta impiegando opportuni modelli meteorologici ed assimilando gli output numerici da essi prodotti con le misure disponibili.

Per realizzare in tempi ragionevolmente brevi la simulazione senza, però, perdere in realisticità, il punto di partenza per la ricostruzione dell'informazione meteorologica e micrometeorologica necessaria al modello di dispersione è costituito dai campi meteorologici ricostruiti per l'intero anno 2005 nell'ambito del progetto MINNI ("Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione internazionale sui temi dell'Inquinamento atmosferico") su tutto il territorio italiano alla risoluzione orizzontale di 20 km. La scelta dell'anno 2005, motivata in questo studio dalla necessità di realizzare le simulazioni in tempi relativamente brevi, non è penalizzante per le ricostruzioni visto il carattere climatologico dello studio e la tipicità dell'anno considerato.

I campi meteorologici prodotti dal progetto MINNI vengono quindi *assimilati* con i dati meteorologici locali e il tutto viene inserito in un sistema di analisi denominato ISAN in grado di effettuare l'integrazione delle informazioni disponibili e di ricostruire la meteorologia sui domini e alle scale scelte in questo lavoro.

I campi prodotti mediante il codice ISAN vengono quindi re-interpolati mediante il codice GAP ad una risoluzione orizzontale ancora maggiore su un dominio riferito al sistema di coordinate orizzontali UTM32, nel sistema di coordinate verticali necessaria al modello lagrangiano a particelle SPRAY utilizzato, come si vedrà nel seguito, per il calcolo della dispersione in aria delle sostanze inquinanti. GAP ricostruisce le velocità verticali rispettando il vincolo di divergenza nulla del campo di velocità reintroducendo il vincolo fisico perso durante la fasi di analisi di RAMS/ISAN.

Nel seguito vengono descritte le metodologie utilizzate per la ricostruzione sia dei campi MINNI che dei campi sui domini target di interesse per questo progetto, riassumendo i principali risultati ottenuti.

8.1.1 I campi meteorologici generati dal Progetto MINNI

Il progetto MINNI prevede la produzione di campi meteorologici orari alla risoluzione di 20 km sul dominio di riferimento nazionale relativi all'anno 2005, mediante l'utilizzo del codice meteorologico non idrostatico RAMS.

Le simulazioni vengono effettuate contemporaneamente, mediante una tecnica di *two-way nesting*, su un dominio a grande scala (rappresentato dal rettangolo esterno nella *Figura 8.1*) che copre gran parte dell'Europa e sull'area nazionale più interna che ne rappresenta un dominio innestato. I dettagli sul dominio e risoluzione a scala nazionale sono riassunti nella *Figura. 8.2*.

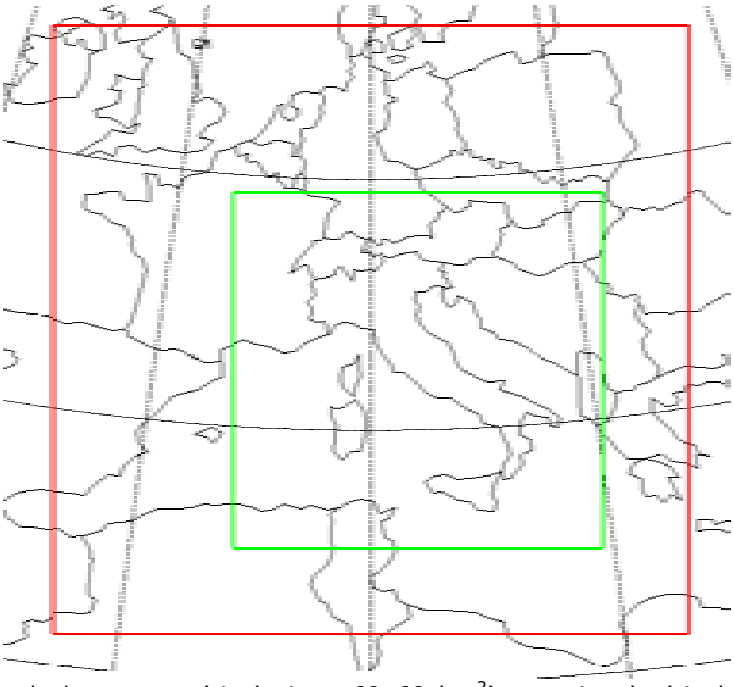


Figura 8.1. Domini di calcolo esterno (risoluzione 60x60 km^2) e nazionale (risoluzione 20x20 km^2) del modello MINNI.

Figura 8.2. Dominio di calcolo di nazionale e grigliato a risoluzione 20x20 km^2 del modello MINNI.

Definizione delle condizioni al contorno

Le simulazioni effettuate dal codice RAMS sui due domini innestati, illustrati nelle figure precedenti, sono "guidate" esternamente dalle condizioni al contorno imposte attraverso campi meteorologici prodotti da modelli a scala globale o continentale. Per le applicazioni previste dal progetto MINNI, sono stati utilizzati i campi di analisi meteorologica del ECMWF. Tali campi sono resi disponibili su livelli di pressione, ad una risoluzione spaziale orizzontale di 0.5 gradi in longitudine/latitudine.

Definizione della temperatura superficiale del mare

La temperatura superficiale del mare costituisce un dato di input di particolare importanza per un modello meteorologico poiché il contrasto termico fra mare e terra è il meccanismo principale di generazione delle brezze, che costituiscono uno dei regimi di circolazione più frequenti nelle aree costiere. La temperatura del mare ha inoltre un'importante influenza nella generazione dei fenomeni termodinamici che danno origine alle precipitazioni. Per le simulazioni relative al 2005 sono state utilizzate le temperature superficiali disponibili negli archivi ECMWF con risoluzione spaziale congruente con i campi di analisi meteorologica precedentemente descritti. Data la variazione temporale lenta che caratterizza la temperatura del mare si sono acquisiti i valori di questa variabile su base giornaliera, utilizzando il valore alle ore 12:00 UTC come rappresentativo del giorno in considerazione.

Osservazioni meteorologiche superficiali

Le simulazioni di RAMS per il progetto MINNI sono state effettuate in modalità di *nudging* (detta anche di assimilazione dati); in questo modo le osservazioni al suolo disponibili sono state assimilate durante l'esecuzione della simulazione attraverso un termine forzante che viene aggiunto alle equazioni della dinamica. Sono utilizzate a tal fine le osservazioni WMO di tipo SYNOP e METAR disponibili attraverso gli archivi ECMWF. Queste osservazioni costituiscono una base dati con frequenza temporale oraria.

Modalità di utilizzo del modello meteorologico RAMS

Le simulazioni effettuate attraverso modelli meteorologici sono caratterizzate da errori (differenze fra le variabili meteorologiche calcolate e osservate) che tendono a crescere nel tempo a causa della non linearità del sistema di equazioni che descrive lo stato e l'evoluzione dell'atmosfera e dell'intrinseca instabilità dei fenomeni meteorologici. Per limitare questi errori, i campi meteorologici annuali sono costruiti a partire da simulazioni della durata di una settimana. Le simulazioni con il codice RAMS all'interno del progetto MINNI sono quindi re-inizializzate ogni sette giorni in modo da rimuovere eventuali derive dei campi calcolati rispetto alle analisi di grande scala ed alle osservazioni locali. Oltre a ciò, le simulazioni sono state eseguite in modalità di *nudging*, in modo da "forzare" i campi simulati a seguire localmente gli andamenti delle osservazioni disponibili.

Risultati della simulazione meteorologica del 2005

Sono stati elaborati i campi medi mensili delle principali grandezze meteorologiche. Queste elaborazioni presentano una prima valutazione d'insieme dei risultati ottenuti. Nelle *Figure 8.3-8.5* vengono presentati i campi di temperatura media (K), umidità relativa media (%), nuvolosità media (1/10), precipitazione cumulata (mm) e vento a 10 metri relativi al mese di gennaio relativi all'intera Italia. Si osserva la scarsa presenza di fenomeni di precipitazione sull'area alpina e padana, confermata dai valori della nuvolosità media. La media vettoriale del campo di vento mostra la prevalenza di venti settentrionali e nord-occidentali. La prima parte del mese è stata infatti dominata da un campo anticiclonico al suolo associato a correnti nord-occidentali in quota che ha mantenuto condizioni di bel tempo stabile sull'intero territorio nazionale con foschie e nebbie in progressivo aumento al nord nel corso del periodo. Successivamente, si è osservato l'afflusso di correnti fredde provenienti da nord-est, che hanno determinato precipitazioni sulla Sicilia, sul versante adriatico e sull'Italia meridionale e rare precipitazioni al nord.

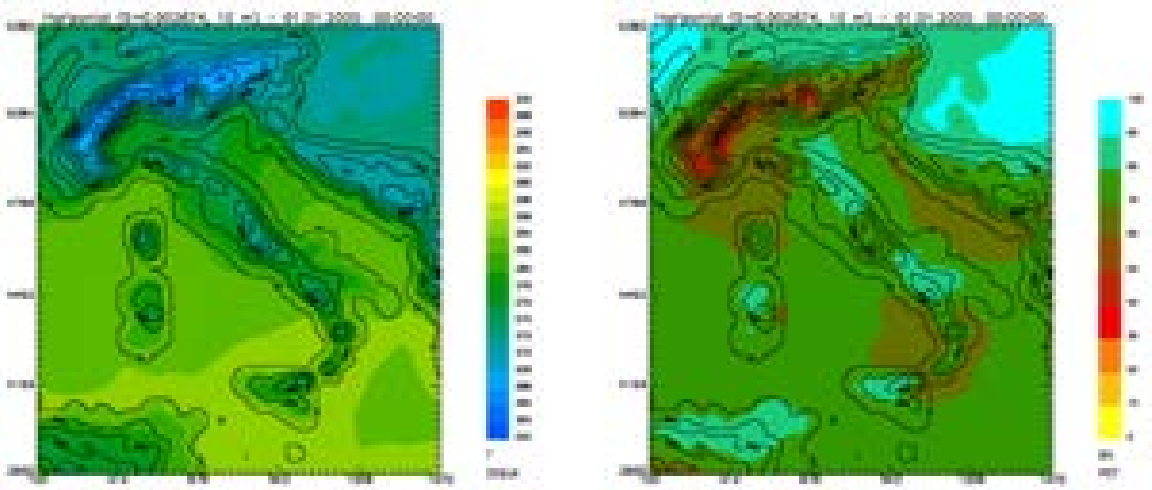


Figure.8.3. Valori medi mensili di temperatura (sinistra) ed umidità relativa (destra) superficiale (10 m), per il mese di gennaio 2005

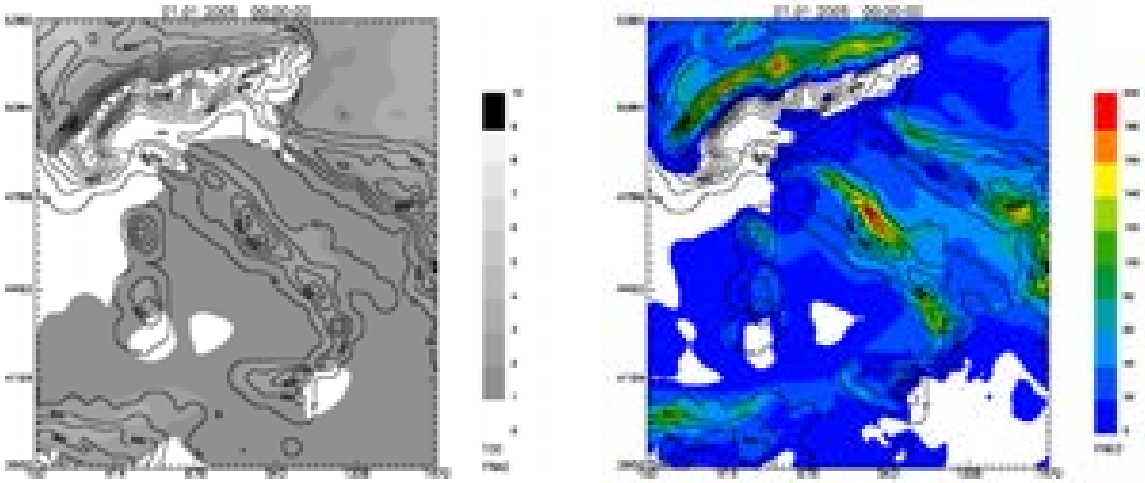


Figura 8.4. Valori medi mensili di copertura nuvolosa (sinistra) e precipitazione cumulata (destra), per il mese di gennaio 2005

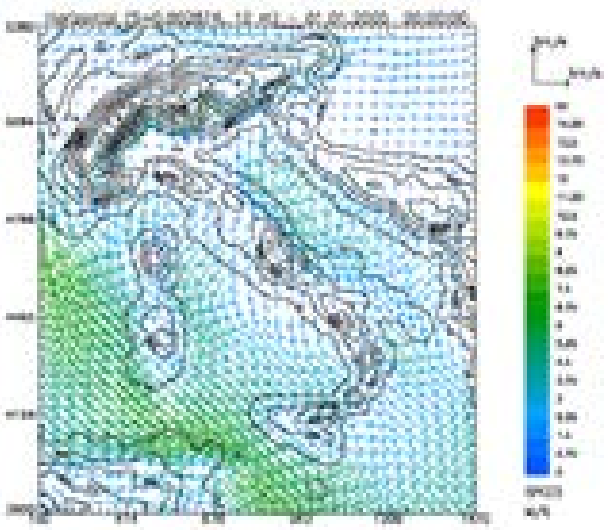


Figura 8.5. Valori medi mensili di vento vicino al suolo (10 m), per il mese di gennaio 2005.

Nelle *Figure.8.6-8.8* sono illustrati i campi di temperatura media (K), umidità relativa media (%), nuvolosità media (1/10) precipitazione cumulata (mm) e vento a 10m relativi al mese di luglio. Si osserva la presenza di nuvolosità media rilevante unicamente sull'area alpina e precipitazioni di origine convettiva che si concentrano sui due versanti dell'arco alpino, sul versante adriatico dell'Appennino centrale e sul versante tirrenico dell'Appennino meridionale. La circolazione nei bassi strati dell'atmosfera ha mostrato la prevalenza di correnti da ovest sul versante tirrenico della penisola e da nord-ovest sul versante adriatico. In generale, durante l'intero mese di luglio, l'Italia è stata interessata dal transito di saccature in quota provenienti da nord che si sono portate verso i Balcani valicando la catena alpina, causando temporali sull'Italia settentrionale e lungo la costa adriatica.

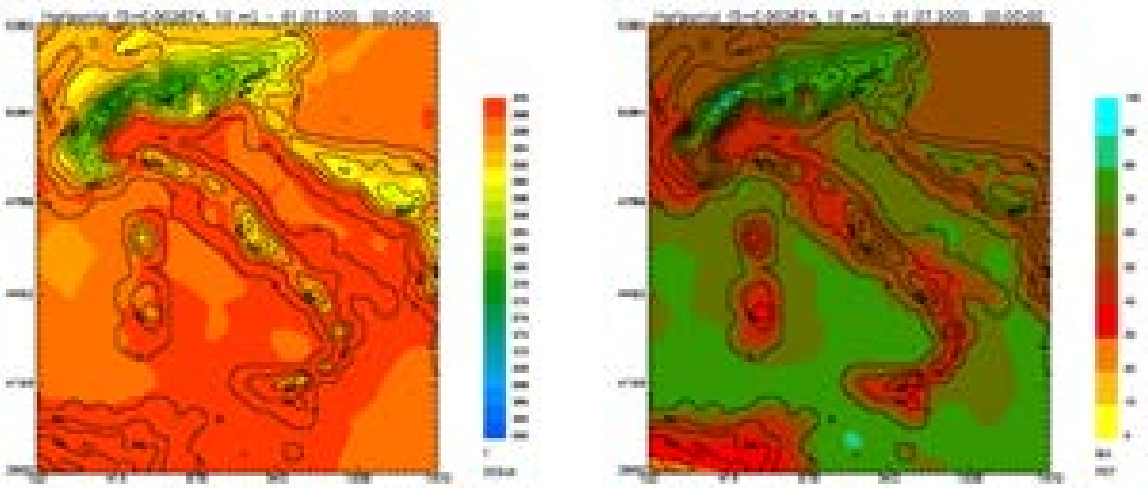


Figura 8.6. Valori medi mensili di temperatura (sinistra) ed umidità relativa (destra) superficiale (10 m), per il mese di luglio 2005.

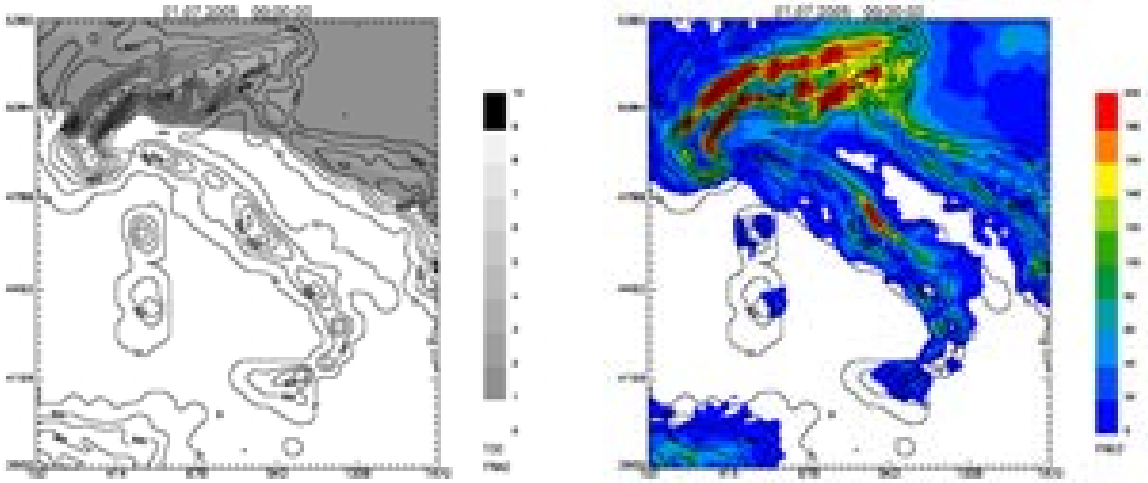


Figura 8.7. Valori medi mensili di copertura nuvolosa (sinistra) e precipitazione cumulata (destra), per il mese di luglio 2005.

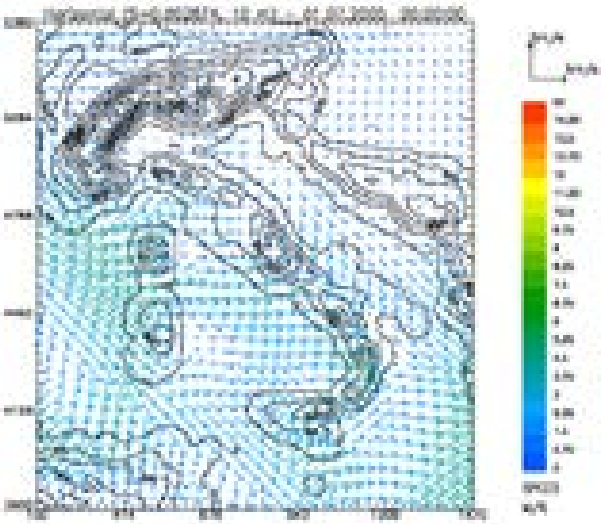


Figura 8.8. Valori medi mensili di vento vicino al suolo (10 m), per il mese di luglio 2005.

A titolo di esempio, nelle *Figure 8.9-8.10* vengono confrontati i risultati ottenuti dal modello RAMS con le analisi meteorologiche NCEP e le immagini METEOSAT per una situazione verificatasi il 19 gennaio 2005, con la presenza di un'area ciclonica sul Mediterraneo, con un minimo di pressione chiuso centrato sul mar Tirreno. In questi caso la struttura della circolazione e la posizione dei corpi nuvolosi è descritta in modo decisamente soddisfacente dal modello.

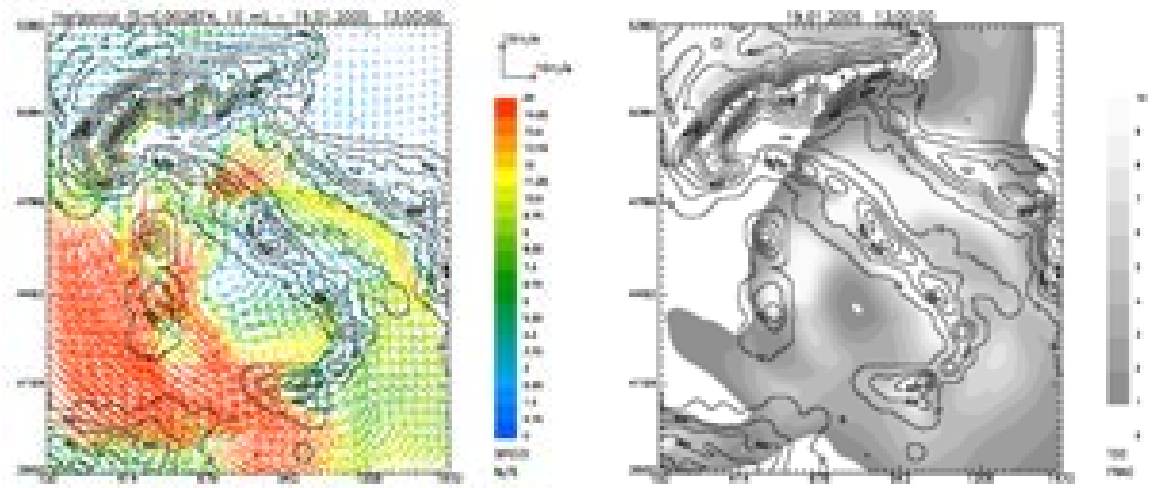


Figura 8.9. 19 gennaio 2005: 13:00 vento vicino al suolo (10 m) e copertura nuvolosa generate dal codice RAMS sul dominio nazionale.

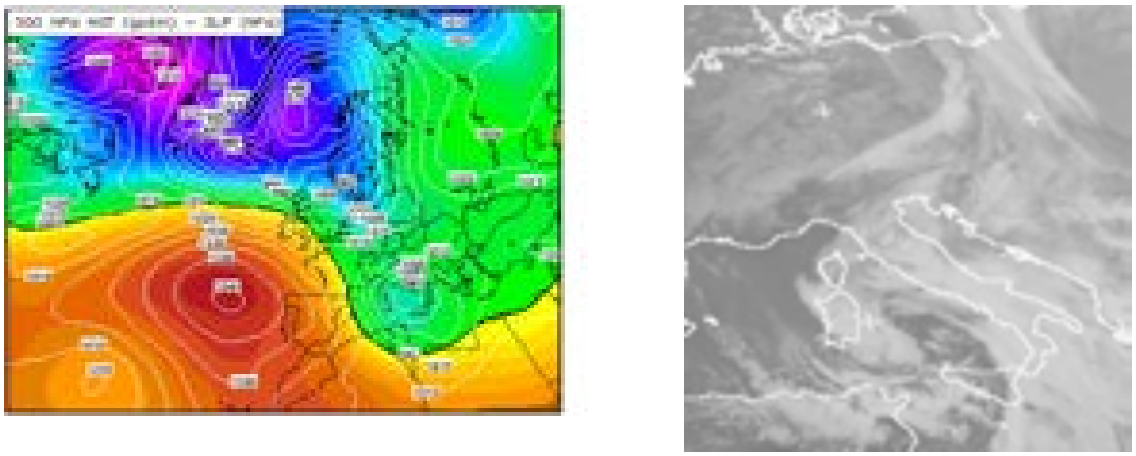


Figura 8.10. 19 gennaio 2005: 13:00, geopotenziale a 500 HPa e pressione a livello del mare (sinistra) e immagine METEOSAT (destra).

8.1.2 Ricostruzioni meteorologiche sul Lazio

Una volta disponibili per ogni dell'anno 2005 i campi meteorologici del Progetto MINNI sull'intero territorio nazionale, è stato necessario ottenere da questi ultimi i campi a maggiore risoluzione per la zona Laziale. A tal proposito sono state considerate due aree *innestate*, la prima in grado di ricoprire tutta la regione Lazio e la seconda, più interna, che descrive con maggiore dettaglio la meteorologia sulla zona di Roma. Per

ottenere i campi meteorologici in grado di pilotare le simulazioni di dispersione da realizzare mediante il codice lagrangiano di dispersione SPRAY, è stato necessario mettere a punto la catena modellistica illustrata schematicamente nella *Figura 8.11*.

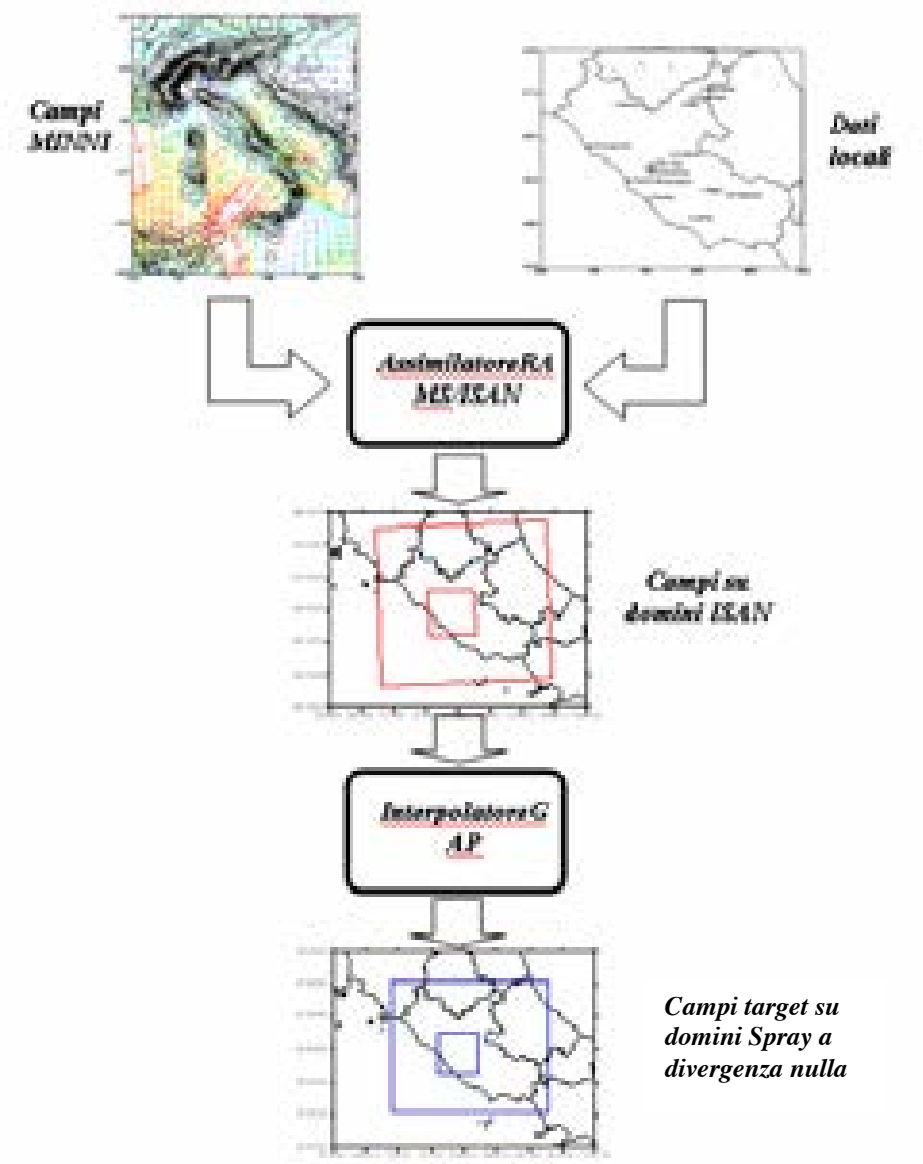


Figura 8.11. Diagramma riassuntivo delle procedure utilizzate per la costruzione dei campi meteo sui domini target.

Le caratteristiche generali delle due aree considerate sono sintetizzane nella Tabella 8.1:

	Area Lazio ISAN	**Area Roma ISAN**	**Area Lazio GAP-FARM**	**Area Roma GAP-FARM**
dimensione in x (km)	264	69	240	60
dimensione in y (km)	244	69	200	60
numero punti orizzontali	67 x 61	70 x 70	61 x 51	61 x 61
Risoluz. Orizzont. in x e y (km)	4	1	4	1

Tabella 8.1. Caratteristiche aree IASN e GAP-FARM

La *Figura 8.12* mostra il posizionamento dei due domini Lazio e Roma di ISAN (rettangoli rossi più interni) e di GAP (rettangoli blu più interni) rispetto al dominio nazionale MINNI (rettangolo rosso più esterno).

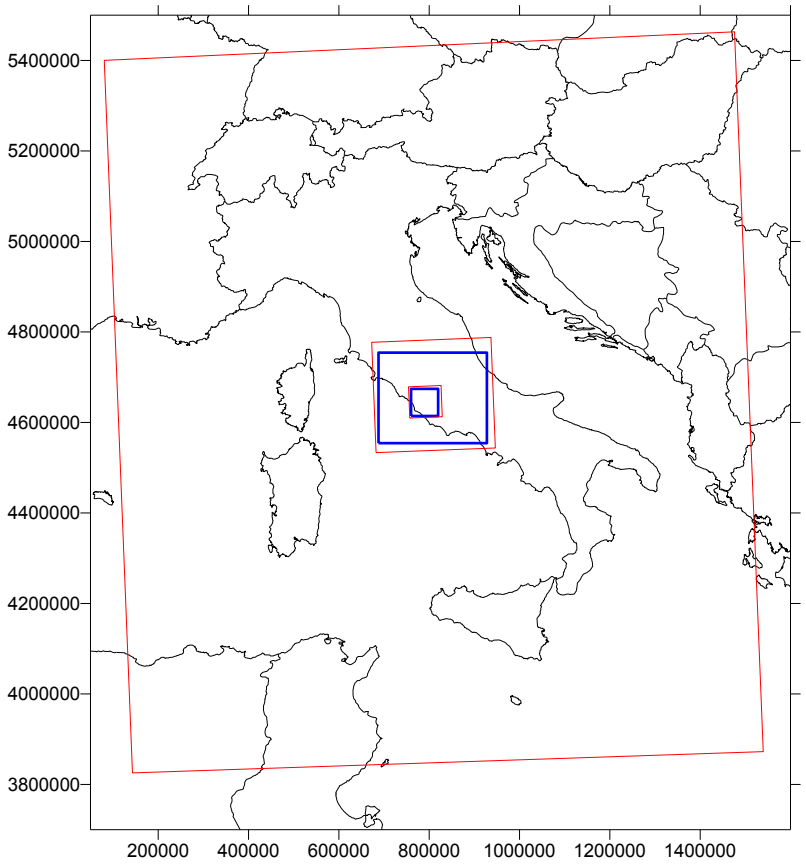


Figura 8.12. I domini target sulla regione Lazio e sulla zona di Roma (rettangoli più interni)

La *Figura 8.13* mostra infine il dettaglio delle aree ISAN e GAP-FARM, dalle quali si può notare come l'area del Lazio copre tutta le regione mentre l'area più interna relativa alla zona di Roma ricopre l'intera città

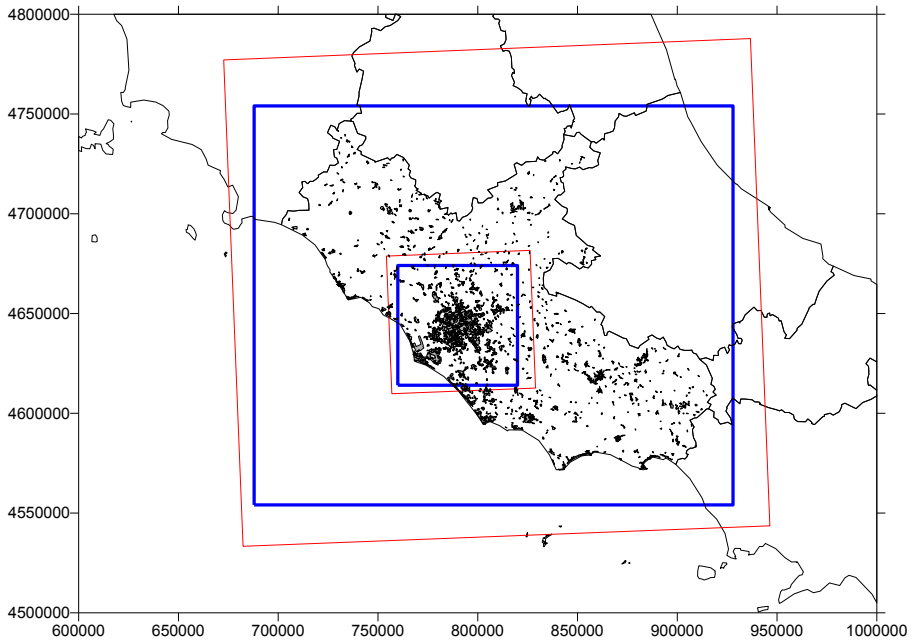


Figura 8.13. Posizionamento dei domini target sulla regione Lazio e sulla zona di Roma.

Il passaggio dal dominio MINNI ai due domini target consente di tenere in considerazione gli effetti derivanti da una topografia a maggior risoluzione e più realistica che si ottiene nel passaggio dalla risoluzione di partenza di 20 km a quelle di 4 km e 1 km. A titolo di esempio, la *Figura 8.*14 mostra la topografia vista dal modello RAMS/ISAN sul dominio del Lazio nel passaggio dalla risoluzione 20 km a quella 4 km. Risulta evidente il maggiore dettaglio fornito dalla topografia a 4 km di risoluzione. Un guadagno proporzionale viene ottenuto nel passaggio dalla risoluzione 4 km a quella 1 km nel dominio di Roma. A beneficiare della migliore risoluzione non sono solo i campi meteorologici ma anche quelli di concentrazione, che risulteranno maggiormente significativi su ognuno dei domini target.

Figura 8.14. Topografia sull'area del Lazio vista a 4 km di risoluzione (sinistra) e a 1 km di risoluzione (destra). Δ iso = 100m per entrambi i grafici

Come detto, per ottenere la discesa di scala dal dominio nazionale MINNI considerando gli effetti legati alla presenza dei dati locali è stato utilizzati il sistema di analisi dati ISAN (*Isentropic ANalysis package*) fornito all'interno del codice meteorologico RAMS. ISAN è un codice di assimilazione che agisce mediante un metodo di analisi oggettiva. Con il termine analisi oggettiva sono usualmente indicati quei metodi matematici che consentono di descrivere l'andamento spaziale di una variabile meteorologica su di una griglia regolare, a partire da valori osservati distribuiti irregolarmente. Queste procedure generalmente prevedono l'integrazione delle misure disponibili all'interno di campi di background già prodotti per mezzo di modelli meteorologici, come è il caso dei campi a 20 km di risoluzione prodotti dal codice RAMS all'interno del progetto MINNI integrati da misure locali sul Lazio. ISAN permette di effettuare l'analisi a partire da tre diversi tipi di dati: radiosondaggi, osservazioni al suolo e campi meteorologici di analisi o previsione su livelli di pressione. Essendo le simulazioni del progetto MINNI costruite mediante il codice RAMS, gli output risultano rapidamente disponibili come campi meteorologici di background in questo progetto. I dati locali sono assimilati con i dati provenienti da questi campi scala più grande attraverso un processo di "analisi oggettiva di Barnes". I risultati sono quindi utilizzati per costruire i campi meteorologici tridimensionali che tengono conto delle strutture topografiche alla scala dei grigliati target innestati, come nel caso dei domini del Lazio e di Roma. Il codice ISAN effettua un'analisi oggettiva di Barnes su due differenti livelli verticali di calcolo, livelli isoentropici, cioè superfici a temperatura potenziale costante, e livelli z*, dove:

$$z^* = z_{TOP} \frac{z - z_{SURF}}{z_{TOP} - z_{SURF}}$$

che coincidono con le coordinate di calcolo di RAMS. Le coordinate isoentropiche sono ritenute adatte alla descrizione del flusso a scala sinottica che, in prima approssimazione, si può ritenere adiabatico. Queste coordinate risultano però poco adatte alla descrizione dello strato limite atmosferico, dove la stratificazione è debole e quindi la risoluzione ridotta, inoltre i livelli isoentropici intersecano il terreno. Il modello esegue quindi un'analisi anche sui livelli z* che sono più adatti alla descrizione del flusso in prossimità del suolo. I due risultati vengono quindi interpolati dando maggior peso rispettivamente all'analisi isoentropica negli strati elevati ed all'analisi su livelli z* in prossimità del terreno.

Nel processo di assimilazione sono stati resi utilizzati i dati meteorologici per l'interno anno 2005 relativi a un numeroso quantitativo di stazioni al suolo, provenienti sia dalla rete gestita dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (SMAM) che dalla rete regionale gestita direttamente da ARPA stessa. E' stato quindi effettuato un primo screening per eliminare stazioni che presentano lunghi periodi di mancanza di dati o per ridurre la ridondanza in caso di stazioni troppo ravvicinate rispetto alla risoluzione target scelta, che potrebbero potenzialmente generare dei problemi alla fase interpolativa di ISAN in presenza di contrasti evidenti tra le misure. Dopo questa fase iniziale di screening, le stazioni rimaste ed utilizzate sono quelle identificate nella *Figura 8.15*, dove in rosso vengono indicate le stazioni di SMAM ed in nero quelle di ARPA.

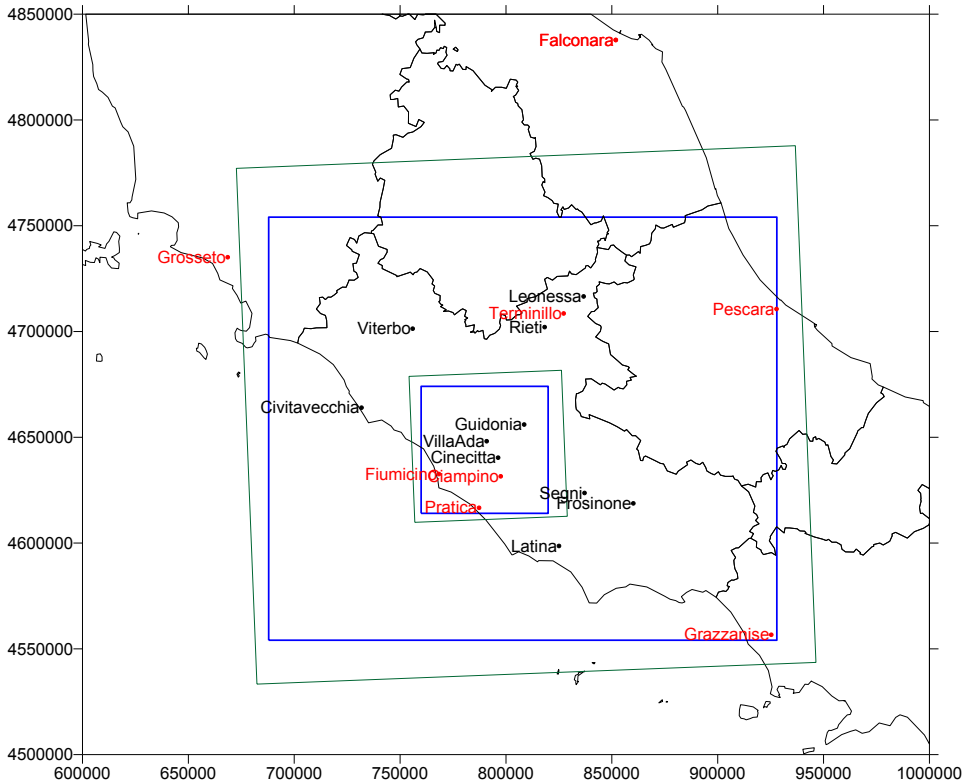


Figura 8.15. Stazioni meteorologiche al suolo considerate nel sistema di analisi RAMS/ISAN

In totale sono stati utilizzati i dati su base oraria per tutto il 2005 delle seguenti 8 stazioni SMAM e 10 stazioni ARPA:

- Roma Ciampino (SMAM)
- Pratica di mare (SMAM)
- Fiumicino (SMAM)
- Grosseto (SMAM)
- Terminillo (SMAM)
- Falconara (SMAM)
- Pescara (SMAM)

- Grazzanise (SMAM)
- Cinecittà (ARPA)
- Civitavecchia (ARPA)
- Guidonia (ARPA)
- Segni (ARPA)
- Roma Villa Ada (ARPA)
- Frosinone (ARPA)
- Latina (ARPA)
- Rieti (ARPA)
- Leonessa (ARPA)
- Viterbo (ARPA)

Le grandezze fornite da queste stazioni utilizzate nella fase di analisi di ISAN sono le seguenti:

- Velocità del vento
- Direzione del vento
- Temperatura
- Temperatura di rugiada
- Pressione atmosferica

8.1.3 Risultati meteorologici ottenuti

L'impiego del sistema modellistico RAMS/ISAN/GAP ha consentito di generare i campi tridimensionali di vento, temperatura, umidità relativa e pressione sia sul dominio del Lazio che su quello di Roma con frequenza oraria a partire dal 1/1/2005 01:00 fino al 31/12/2005 24:00. Per entrambe le aree vengono generati dal codice GAP campi su 12 livelli verticali con il tetto del dominio posto a circa 3500 m sopra il suolo ed il primo livello posto a circa 10 m sopra il suolo, ricostruendo le velocità verticali in modo da garantire la condizione di flusso a divergenza nulla sulle due topografie target. Complessivamente sono stati prodotti 8760*2 files contenenti campi tridimensionali per un totale di circa 20 Gbytes. Data questa enorme mole di dati, la loro presentazione può avvenire solo attraverso esempi o grandezze riassuntive.

Il primo elemento che emerge dai risultati della ricostruzione meteorologica è la forte presenza degli effetti introdotti dall'orografia sul flusso delle masse d'aria come risulta immediatamente visibile nella *Figura 8.16* che riporta le linee di flusso e il corrispondente campo di vento vicino al suolo sull'area del Lazio, relativi ad una giornata del mese di gennaio 2005 in presenza di forte stabilità atmosferica e flusso a

mesoscala relativamente debole che tende ad essere quindi più facilmente incanalato all'interno delle strutture orografiche locali.

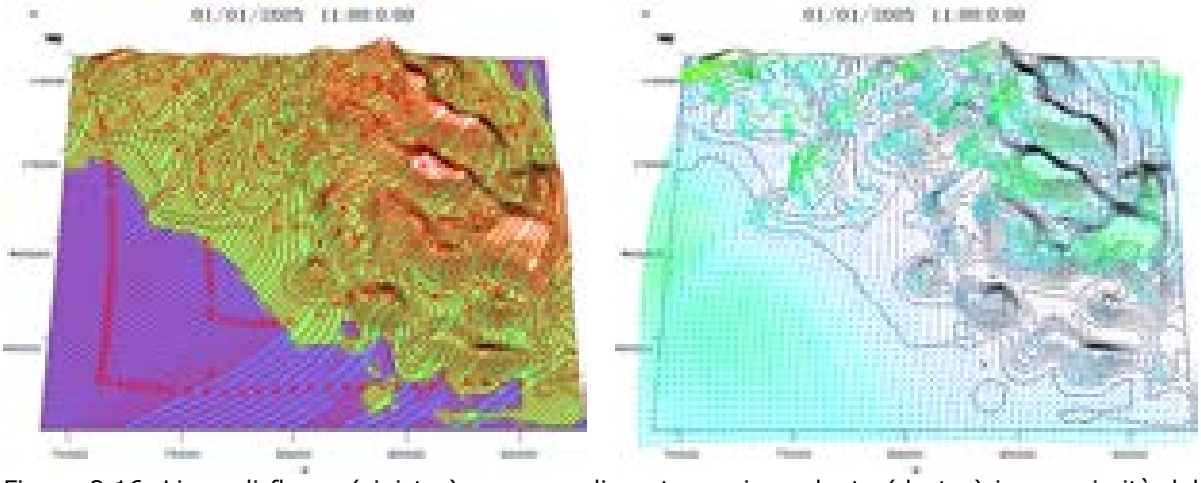


Figura 8.16. Linee di flusso (sinistra) e campo di vento corrispondente (destra) in prossimità del suo-lo relativi al giorno 1/1/2005 alle ore 11:00 simulati attraverso la catena RAMS/ISAN – GAP sull'area del Lazio.

Si nota una distorsione delle linee di flusso, particolarmente evidente nelle zone a Nord e a Sud-Est di Roma. In una situazione a maggiore instabilità e con venti più consistenti, il vento tende invece ad oltrepassare i rilievi subendo una minore distorsione, come evidenziato nella seguente *Figura 8.17* che descrive una tipica situazione estiva.

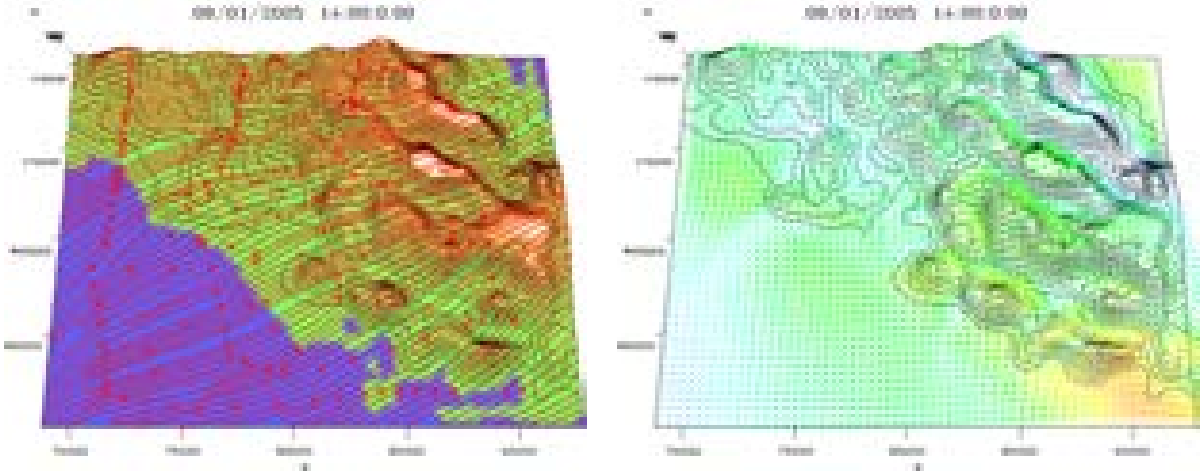


Figura 8.17. Linee di flusso (sinistra) e campo di vento corrispondente (destra) in prossimità del suolo relativi al giorno 1/8/2005 alle ore 14:00 simulati attraverso la catena RAMS/ISAN – GAP sull'area del Lazio.

La disponibilità di una base dati meteorologici di relativamente lungo periodo, consente l'elaborazione di mappe in grado di illustrare le caratteristiche del territorio in esame dal punto di vista statistico. Queste informazioni, oltre ad avere interesse per la climatologia della zona, sono rilevanti anche come informazioni di base per la gestione della qualità dell'aria locale. Basti pensare infatti come l'intensità del vento

costituisca un indice delle capacità dispersive dell'atmosfera e quindi della possibilità di diluire le concentrazioni degli inquinanti emessi dalle differenti tipologie di sorgenti presenti sul territorio. Le aree caratterizzate da venti deboli sono quindi in genere quelle potenzialmente più critiche dal punto di vista della qualità dell'aria.

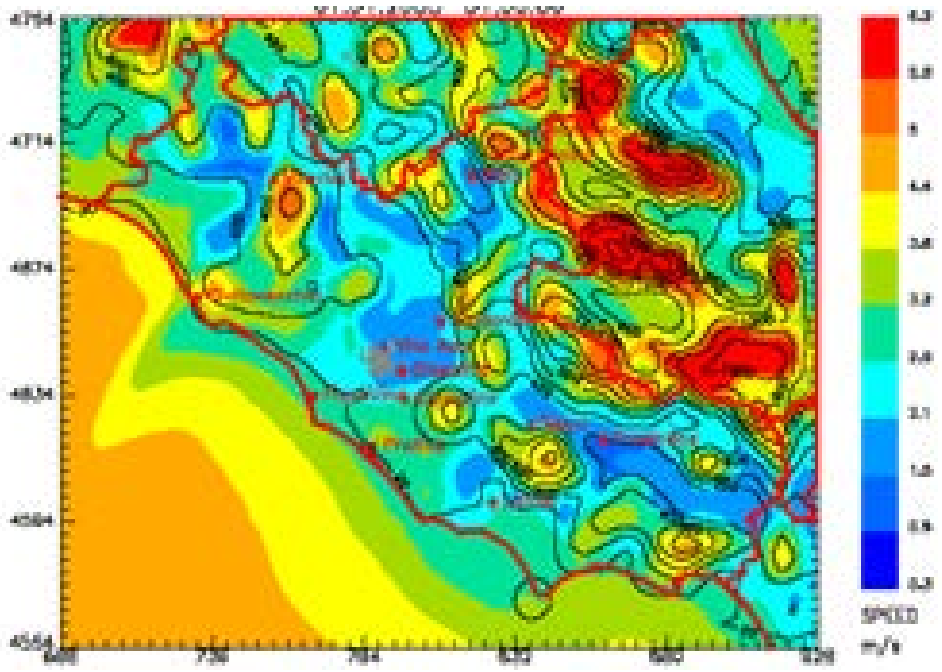


Figura 8.18. Campo di velocità media annuale del vento a 10 m di quota sul dominio del Lazio. Valori in m/s secondo la scala colorata riportata a destra.

Nelle *Figure 8.18-8.19* seguenti sono illustrati rispettivamente i campi della velocità media annuale del vento alle quote di 10 e 200 metri, al disopra del terreno. Sulle figure sono riportati i confini regionali (in rosso), le quote altimetriche (isolinee con passo 200 metri) e la posizione delle stazioni che hanno fornito dati meteorologici. Le quote sono state scelte come rappresentative delle condizioni anemologiche incontrate dalle emissioni a bassa quota (emissioni veicolari e riscaldamento) e da quelle elevate (ciminiere di impianti industriali o di produzione di energia) ed in generale rappresentano lo strato investito dalla maggior carico di sostanze inquinanti.

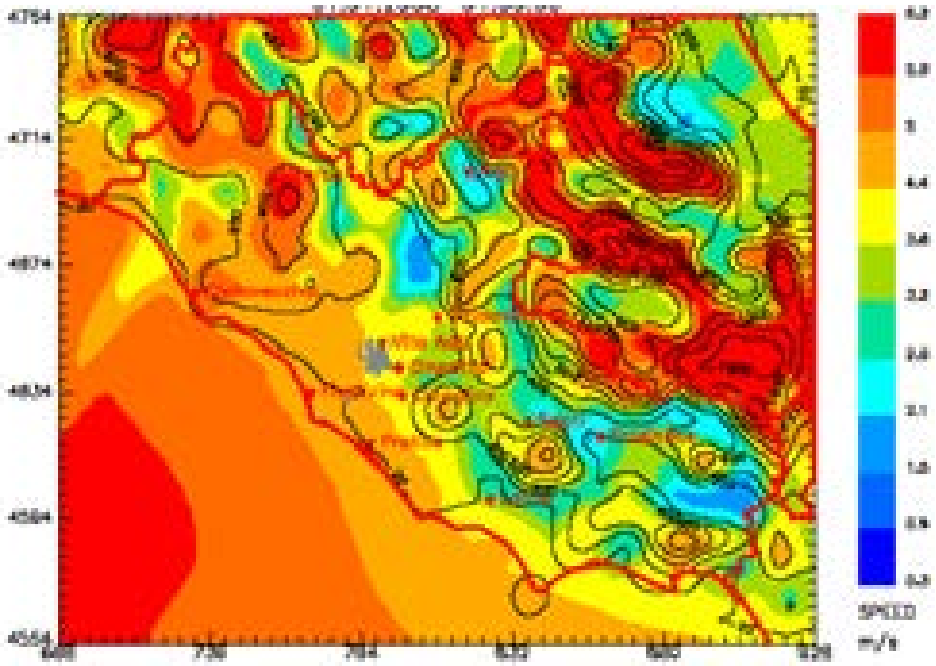


Figura 8.19. Campo di velocità media annuale del vento a 200 m di quota sul dominio del Lazio. Valori in m/s secondo la scala colorata riportata a destra.

Entrambi i campi mostrano una notevole variazione spaziale in corrispondenza delle strutture orografiche. Sia al suolo che a 200 m di quota le velocità medie sono in genere superiori a 1 m/s. Le zone più critiche si trovano a nord di Roma, nella valle del Liri ad est di Frosinone e ad ovest di Viterbo. A 200 m di quota le velocità medie del vento sono ovviamente più elevate e le aree critiche al di sotto di 2 m/s si riducono fino a quasi scomparire dal dominio, rimanendo solo a nord di Roma e a sud-est di Frosinone. Nella *Figura 8.20* il campo di intensità media annuale del vento viene messo a confronto con i dati del database nazionale SCIA (http://www.scia.sinanet.apat.it/) relativi all'anno 2005. Il confronto rispetto alle poche stazioni disponibili sul Lazio mostra un sostanziale accordo tra i campi generati da RAMS/ISAN-GAP e le misure.

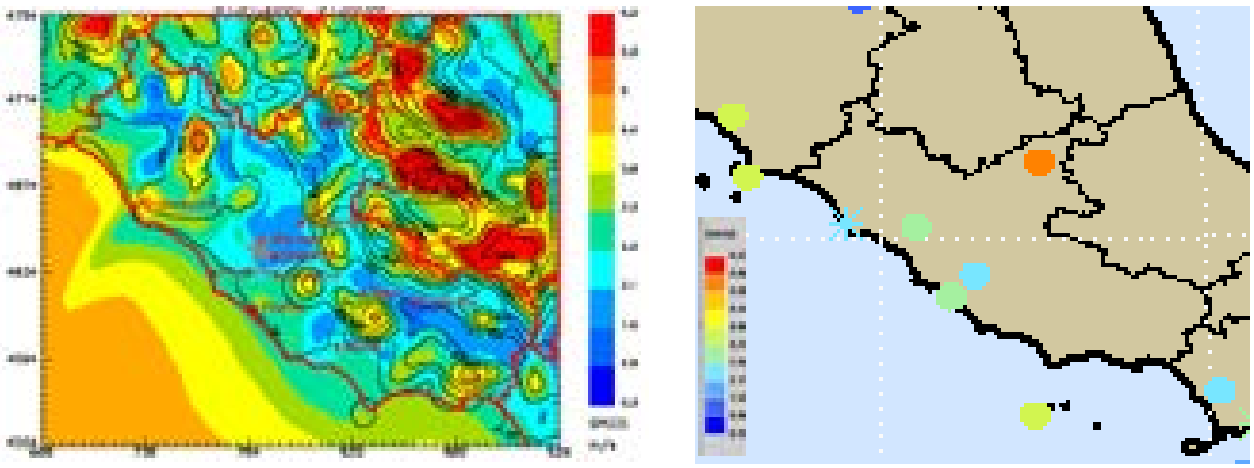


Figura 8.20. Confronto tra i campi di vento al suolo (sinistra) e i dati SCIA di vento medio in prossimità del suolo (destra) relativi all'anno 2005.

In aggiunta a quanto illustrato per le intensità medie dei venti, nelle Figure 8.21 e 8.22 viene mostrata l'incidenza percentuale, su base annuale, degli episodi di calma di vento a 10 m e 200 m (velocità inferiori a 1 m/s).

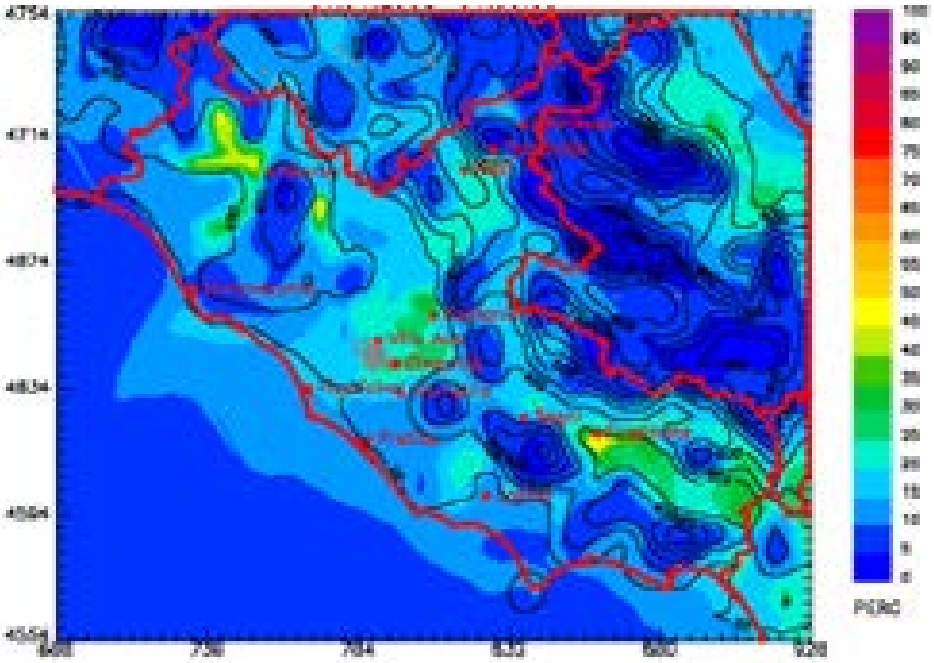


Figura 8.21. Frequenza percentuale annua delle calme di vento (v<1 m/s) alla quota di 10 metri.

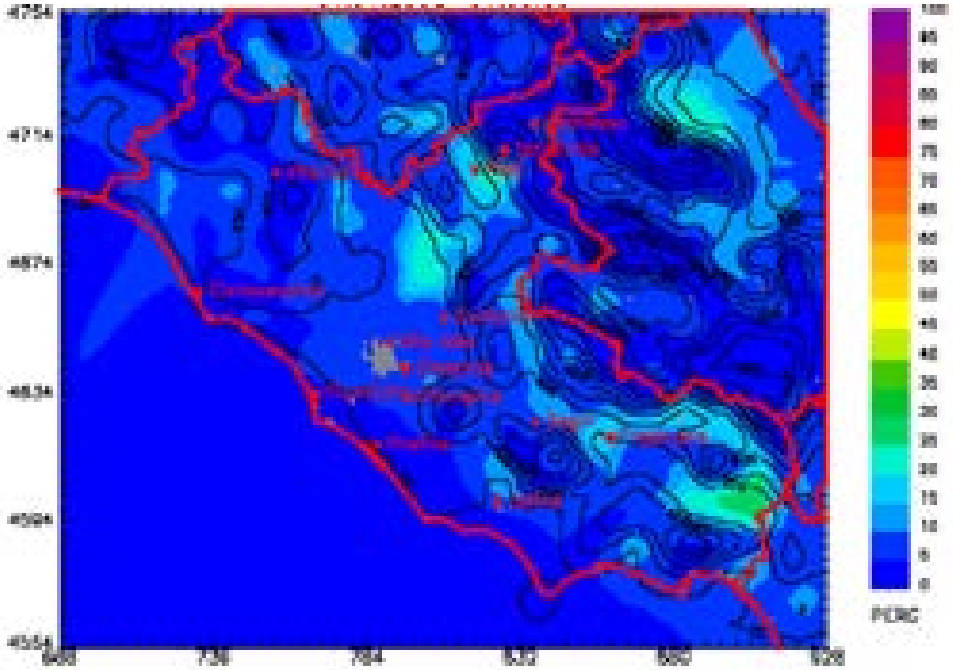


Figura 8.22. Frequenza percentuale annua delle calme di vento (v<1 m/s) alla quota di 200 metri.

A conferma di quanto già evidenziato con le velocità medie annuali, le aree in prossimità del suolo nelle quali si ha la maggiore incidenza di calme di vento si trovano a nord-est di Roma, a sud-est di Frosinone e ad ovest di Viterbo. In queste

due ultime zone si possono avere incidenze delle calme anche dell'ordine del 40%, mentre nella zona intorno a Roma difficilmente le calme mostrano un'incidenza superiore al 25-30%. Alla quota di 200 metri le calme di vento risultano poco significative tranne nelle zone a nord di Roma e a sud-est di Frosinone, dove si può avere un'incidenza residua di circa il 20-25%.

Le *Figure 8*.23 e 8.24 descrivono l'incidenza statistica dei venti di moderata intensità, superiori a 5 m/s. Tali eventi risultano di scarsa rilevanza statistica sulle pianure e in alcune delle principali valli interne. In queste zone i venti superiori a 5 m/s hanno una frequenza inferiore al 10% vicino al suolo ed inferiori al 20% a 200 m di quota.

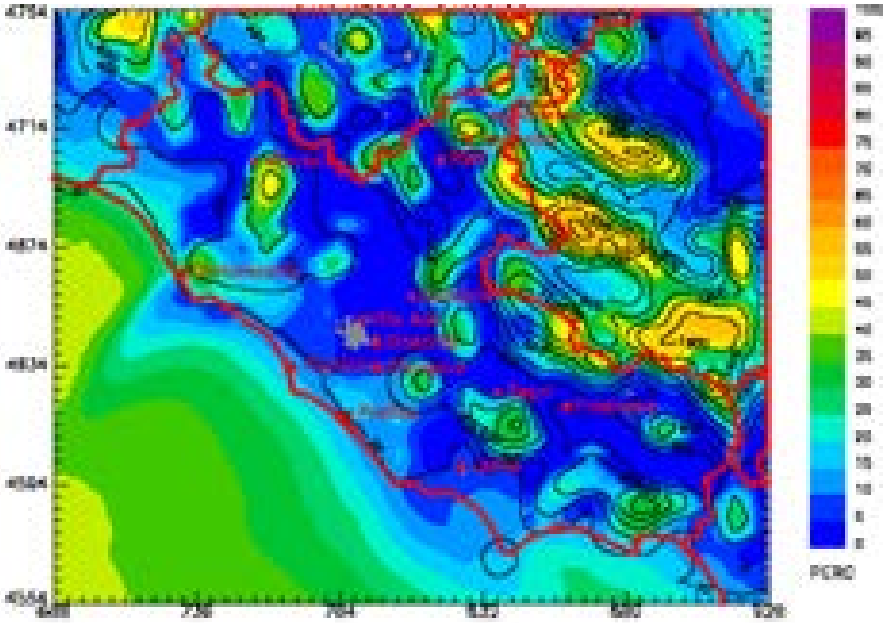


Figura 8.23. Frequenza percentuale annua dei venti moderati (v>5 m/s) alla quota di 10 metri.

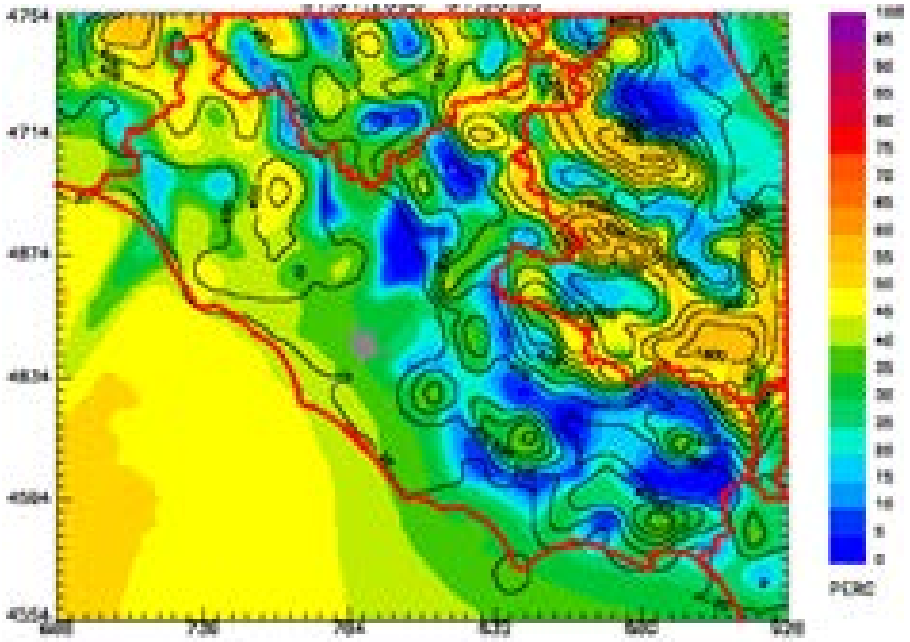


Figura 8.24. Frequenza percentuale annua dei venti moderati (v>5 m/s) alla quota di 200 metri.

Nelle *Figure 8.25* e *8.26* sono infine riportate le percentuali dei venti di forte intensità (superiori a 10 m/s), dalle quali si evince che tali eventi sono localizzati sostanzialmente nelle zone appenniniche più elevate. A 200m di quota si riscontra un numero di eventi significativo (intorno al 10%) nella zona di Viterbo.

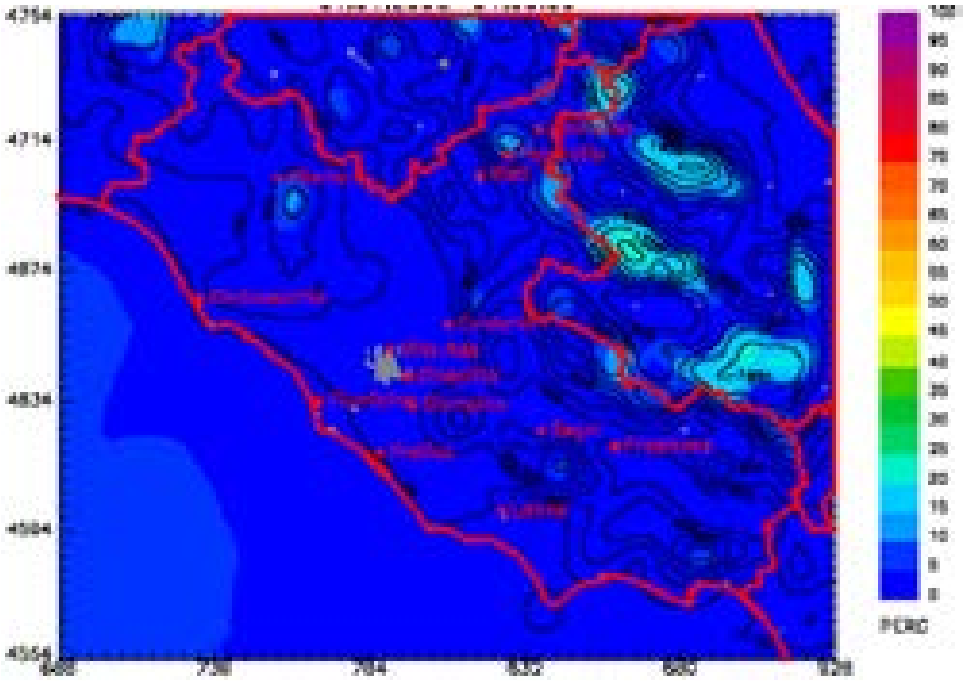


Figura 8.25. Frequenza percentuale annua dei venti forti (v>10 m/s) alla quota di 10 metri.

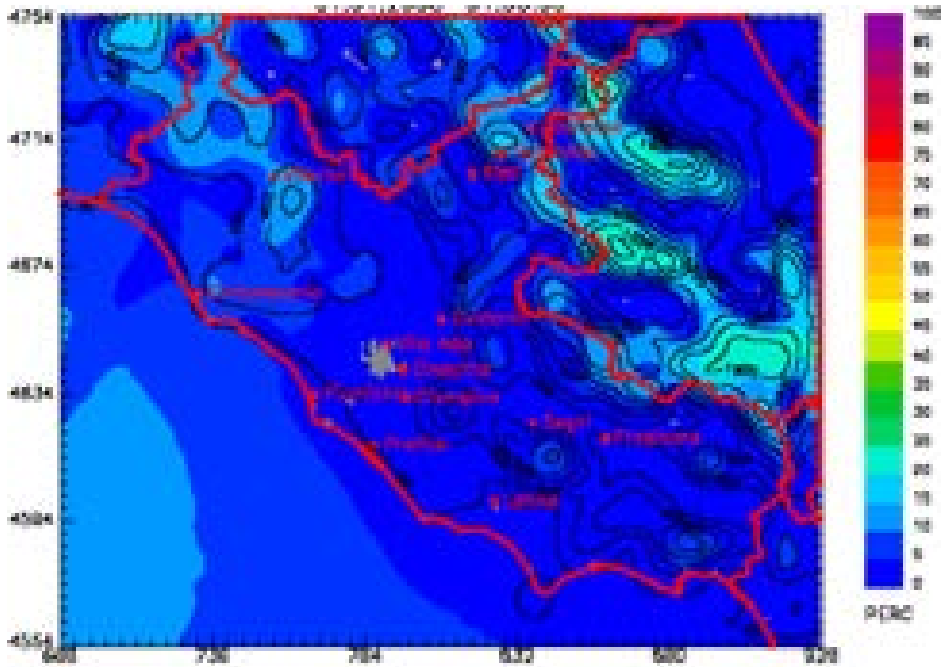


Figura 8.26. Frequenza percentuale annua dei venti forti (v>10 m/s) alla quota di 200 metri.

In *Figura 8.27* viene riportato il campo di temperature medie annuali in prossimità del suolo simulate sull'area del Lazio, insieme al confronto con i dati SCIA relativi all'anno 2005. Il confronto mostra come le temperature, nelle zone dove sono presenti le misure, si trovino correttamente all'interno di valori compresi tra 12 °C e 17 °C.

Infine, la *Figura 8.28* mostra il campo di umidità media annua in prossimità del suolo simulato da RAMS/ISAN-GAP.

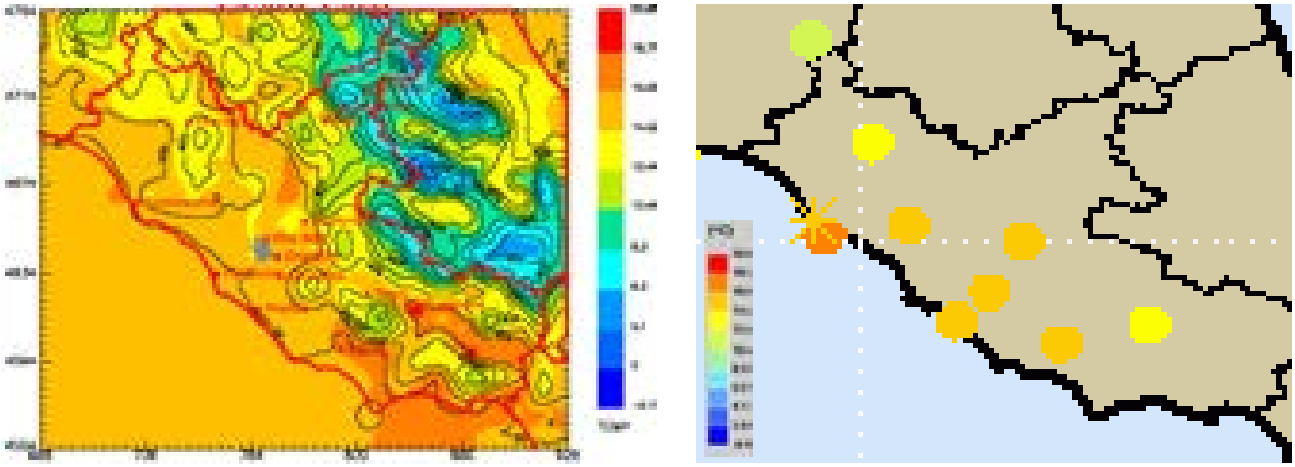


Figura 8.27. Confronto tra i campi di temperatura al suolo (sinistra) e i dati SCIA di temperatura in prossimità del suolo (destra) relativi all'anno 2005.

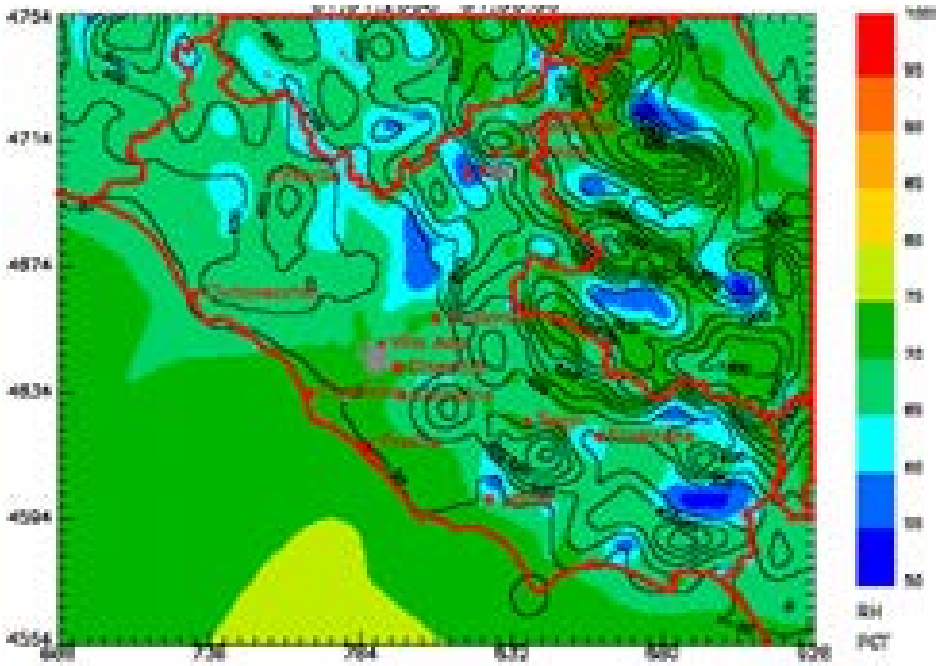


Figura 8.28. Campo di umidità relativa media annuale 10 m di quota sul dominio del Lazio. Valori in % secondo la scala colorata riportata a destra.

Da essa si osserva la presenza di una zona ad umidità relativa maggiore sulla costa, in corrispondenza del trasporto di aria più umida dl mare a causa dei cicli di brezza.. Il minimo sull'area risulta essere del 51% mentre il valore massimo si attesta intorno al 76%. Valori più alti si trovano nelle zone più elevate mentre i valori più bassi sono invece nelle zone a temperatura media maggiore.

8.1.4 Le situazioni ad orografia più complessa

E' opportuno, a questo punto, fare alcune considerazioni riguardo la *risoluzione* di un modello, sia questo meteorologico o di dispersione degli inquinanti.

Le simulazioni effettuata per ciascun impianto di trattamento dei rifiuti è stata eseguita utilizzando 2 modelli in *serie*: il modello meteorologico RAMS e, da questo, il modello lagrangiano SPRAY per la stima della distribuzione e della concentrazione al suolo delle sostanze simulate.
Per una maggiore realisticità la *risoluzione*, che rappresenta la dimensione minima che un sistema modellistico è in grado di distinguere, del modello di dispersione deve essere uguale (o comunque non discostarsi troppo senza perdere realisticità) dalla risoluzione del modello meteorologico.

Nel nostro caso i campi meteorologici, derivati da RAMS, che vengono poi utilizzati per effettuare la simulazione con il modello lagrangiano SPRAY hanno una risoluzione orizzontale di 4 km x 4 km, pertanto ne consegue che i campi di concentrazione che otterremmo da SPRAY sono distribuiti su celle di calcolo dei dimensioni orizzontali pari a 4 km x 4 km. Ciò significa che non è possibile distinguere concentrazioni su distanze inferiori a 4 km e considerando la complessità, sia dal punto di vista orografico che emissivo, dell'area in esame tale risoluzione è stata ritenuta insufficiente per i nostri scopi nelle situazioni ad orografia molto accentuata come la zona di Colleferro e quella di S. Vittore (Cassino).

Pertanto per ottenere i campi meteorologici con una maggiore risoluzione il modello RAMS/ISAN è stato accoppiato al modello meteorologico SWIFT/MINERVE (derivato dal codice MINERVE) il quale è un processore in grado di effettuare un *downscaling* dei campi tridimensionali (nel nostro caso quelli provenienti dal codice RAMS stesso) su una griglia più fine di quella di partenza.

Per effettuare questa operazione mantenendo la realisticità è necessario avere informazioni topografiche ed orografiche dell'area in esame su un grigliato naturalmente più *fine* di quello di partenza (la risoluzione di queste informazioni deve essere almeno pari alla risoluzione finale che si vuole ottenere). Nel nostro caso, per effettuare l'operazione di *downscaling* con SWIFT, sono stati utilizzato il database topografico alla risoluzione di 3" (circa 250m) estratta dal database SRTM (voli dello space Shuttle) e il *landuse* alla risoluzione di 250m estratto dal database Corine anno 2000. In base a queste informazioni è stato possibile quindi fare il *downscaling* dei campi 3D derivati da RAMS e passare da una risoluzione orizzontale di 4km x 4km alla risoluzione di 500m x 500m.

A titolo di esempio, in *Figura 8.29* è presentata l'orografia della zona di Colleferro ad una risoluzione di 4 km x 4 km e la stessa ad una risoluzione a 1 km x 1 km. Come si nota immediatamente, aumentando la risoluzione emergono molti più particolari orografici che possono indurre nelle masse d'aria incanalamenti e blocchi con immaginabili conseguenze nella distribuzione della concentrazione delle sostanze inquinanti.

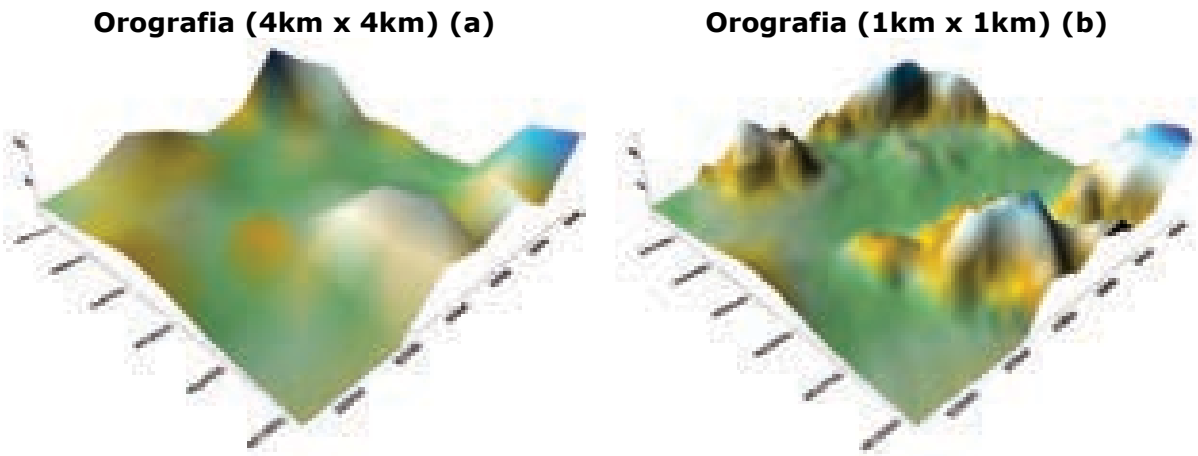


Figura 8.29. Orografia di Colleferro a varie risoluzioni

Ciò è confermato da quanto si può vedere nella *Figura 8.30* in cui vengono confrontate le linee di flusso del vento a gennaio e a giugno prodotte alla risoluzione di 4 km x 4 km dal sistema RAMS/ISAN per questo territorio e le analoghe linee di flusso dopo aver eseguito il *downscaling* con il codice SWIFT/MINERVE.

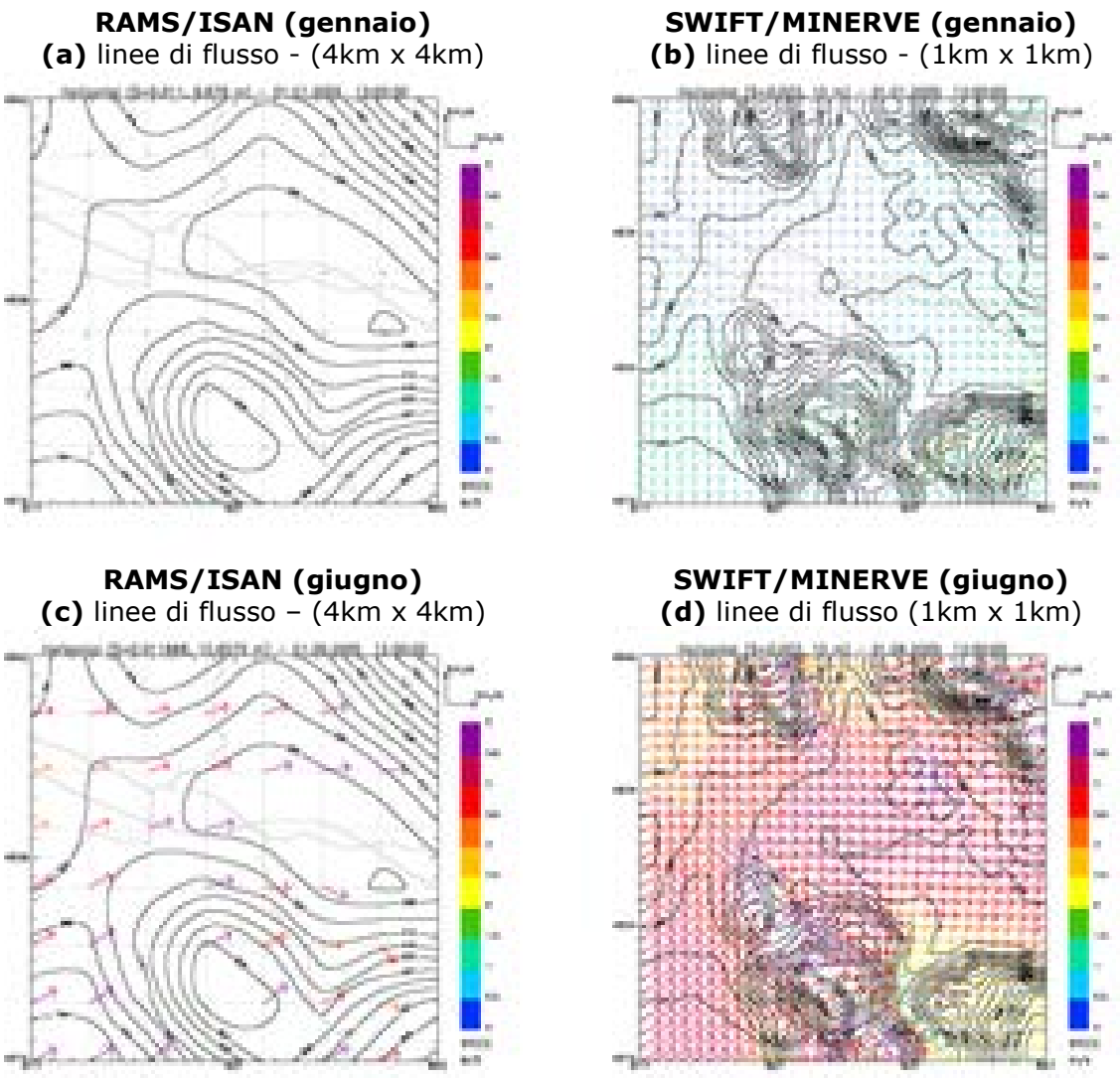


Figura 8.30. Downscaling dei campi meterologici 3D: a) e b) campi a bassa risoluzione (4km x 4km) ottenuti con RAMS/ISAN nei mesi gennaio e giugno rispettivamente; c) e d) campi ad alta risoluzione (1km x 1km) ottenuti con SWIFT/ISAN nei mesi gennaio e giugno rispettivamente.

Le figure precedenti mostrano in che modo vengono modificate le linee di flusso e l'orografia nel passaggio da RAMS/ISAN → SWIFT/MINERVE effettuato per aumentare la risoluzione del dataset meteorologico 3D. Nelle figure a destra (*Figure 8.30b e 8.30d*) è evidente la maggiore compattezza dei campi di vento che tende a ridurre lo *sgranamento* che invece si osserva nelle figure a sinistra (*Figure 8.30a e 8.30c*). L'aumento della risoluzione orizzontale ha l'obiettivo di migliorare il dettaglio di tutte le informazioni meteorologiche che influiscono sulla dinamica, il trasporto e la dispersione delle masse d'aria e quindi, indirettamente, sulla distribuzione e sulla concentrazione delle sostanze inquinanti rilasciate all'interno del dominio di calcolo.

8.1.5 La ricostruzione della turbolenza

Una volta noti a livello orario i campi meteorologici medi tridimensionali delle principali variabili meteorologiche (in particolare il campo di vento) non è ancora conclusa la ricostruzione dell'insieme delle informazioni meteorologiche e micrometeorologiche necessarie al modello di dispersione degli inquinanti in aria. Ciò che manca sono le caratteristiche della turbolenza presente entro il PBL. Per ottenere ciò, si è proceduto in maniera diagnostica utilizzando il codice SURFPRO che ricostruisce tutti i parametri di interesse.

Senza entrare nel dettaglio, sono stati attenuti a livello orario i campi bidimensionali della velocità di frizione u_*, che rappresenta la forzante meccanica della turbolenza, del flusso turbolento di calore sensibile H_0, che rappresenta la forzante convettiva, dell'altezza di rimescolamento $h_{mi}x$, che rappresenta l'estensione verticale del PBL, e la velocità convettiva di scala w_*, che rappresenta la velocità di scala del movimento verticale dei grandi vortici convettivi.

Al fine di ottenere informazioni sull'intensità della turbolenza caratteristica dei periodi simulati, di seguito è riportato il comportamento, nei mesi di gennaio e giugno, dell'altezza di rimescolamento (h_{mix}) della velocità di frizione (u_*) e della velocità convettiva di scala (w_*) che esprimono, rispettivamente, una misura dell'altezza del *PBL* e dell'intensità della turbolenza di origine sia meccanica che termica. Va ricordato che il *Planetary Boundary Layer (PBL)* è la parte di troposfera più vicina la suolo, direttamente influenzata dalla superficie terrestre, in cui si sviluppa in modo significativo e continuo la turbolenza che è poi il motore principale della dispersione degli inquinanti in aria. Come è lecito aspettarsi, si osserva un incremento dell'intensità della turbolenza nel mese di giugno rispetto al mese di gennaio dovuto all'instaurarsi della forzante termica caratteristica dei mesi estivi. Tale comportamento produce una crescita del *PBL* che, durante le ore diurne dei mesi estivi, è in grado di estendersi oltre 1500m a fronte di quanto osservato nei mesi invernali quando si mantiene generalmente inferiore ai 1000m. Pertanto, una sostanza inquinante che, durante i mesi estivi, viene rilasciata anche in prossimità del suolo ha a disposizione un volume di atmosfera maggiore, rispetto ai mesi invernali, entro il quale disperdersi poiché catturata nei flussi convettivi in grado di estendersi per tutto il *PBL* favorendo

quindi un eventuale diluizione e quindi il decremento della concentrazione nei strati atmosferici in prossimità della superficie terrestre. Il comportamento, spesso trascurato, dei parametri micrometeorologici assume un'importanza fondamentale nell'interpretazione dei risultati ottenuti da un modello di dispersione lagrangiano, poiché risulta essere la chiave che permette di legare l'andamento dei parametri meteorologici (temperatura, velocità e direzione del vento, pressione) alle concentrazioni in prossimità del suolo degli inquinanti che vengono ricostruite dal modello di simulazione stesso.

Altezza di Rimescolamento

(a) gennaio ***(b) giugno***

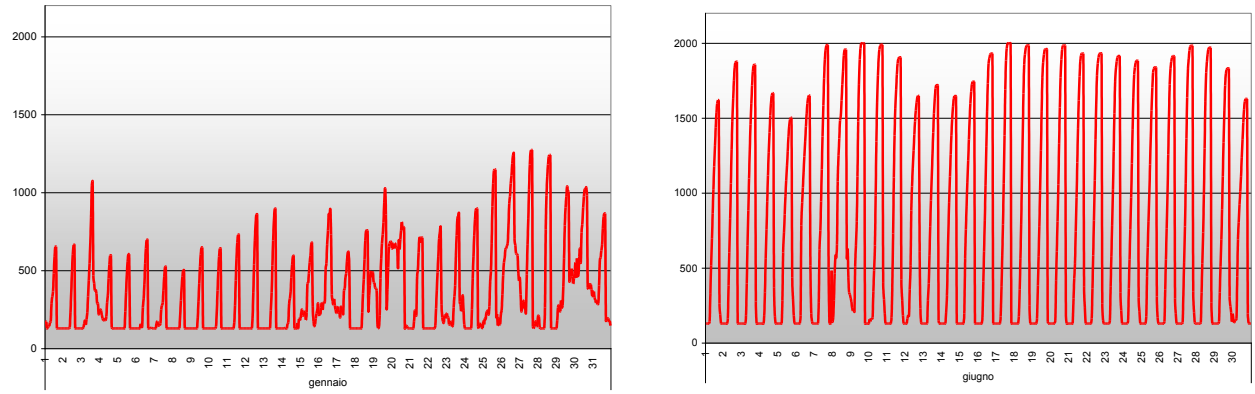


Figura 8.31. Evoluzione oraria dell'altezza di rimescolamento nei mesi di gennaio e giugno.

Nelle *Figure. 8.31* e *8.32* è riportato, a titolo di esempio, il comportamento, nei mesi di gennaio e giugno, dell'altezza di rimescolamento (h_{mix}) della velocità di frizione (u_*) e della velocità convettiva di scala (w_*) che esprimono, rispettivamente, una misura dell'altezza del *PBL* e dell'intensità della turbolenza di origine sia meccanica che termica. Va ricordato che il *Planetary Boundary Layer (PBL)* è la parte di troposfera più vicina la suolo, direttamente influenzata dalla superficie terrestre, in cui si sviluppa in modo significativo e continuo la turbolenza che è poi il motore principale della dispersione degli inquinanti in aria. Come è lecito aspettarsi, si osserva un incremento dell'intensità della turbolenza nel mese di giugno rispetto al mese di gennaio dovuto all'instaurarsi della forzante termica caratteristica dei mesi estivi. Tale comportamento produce una crescita del *PBL* che, durante le ore diurne dei mesi estivi, è in grado di estendersi oltre 1500m a fronte di quanto osservato nei mesi invernali quando si

mantiene generalmente inferiore ai 1000m. Pertanto, una sostanza inquinante che, durante i mesi estivi, viene rilasciata anche in prossimità del suolo ha a disposizione un volume di atmosfera maggiore, rispetto ai mesi invernali, entro il quale disperdersi, poiché catturata nei flussi convettivi in grado di estendersi per tutto il *PBL,* favorendo quindi un eventuale diluizione e quindi il decremento della concentrazione nei strati atmosferici in prossimità della superficie terrestre.

Velocità di frizione (u_*) e velocità convettiva di scala (w_*)

(a) gennaio ***(b) giugno***

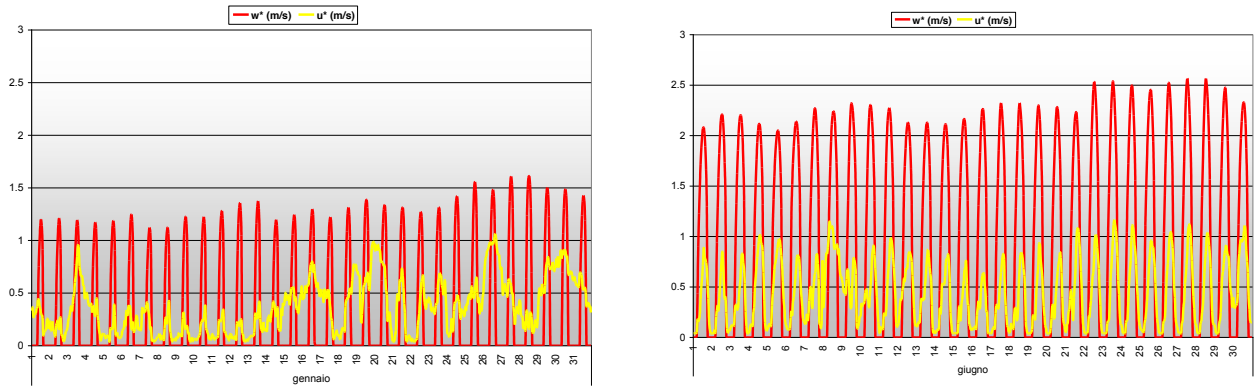


Figura 8.32. Andamento della velocità di frizione, u_*, e della velocità convettiva di scala, w_*.

8.2 Il modello di dispersione degli inquinanti in aria

Viste le caratteristiche del territorio laziale si, è scelto per le simulazioni modellistiche il modello lagrangiano a particelle *SPRAY*, sviluppato dalla società ARIANET srl. Sinteticamente, *SPRAY* è un modello di tipo non stazionario, capace di operare anche in un dominio orograficamente complesso, e fornisce, ora per ora, la distribuzione spaziale dei livelli di concentrazione delle sostanze inquinanti simulate.

In particolare *SPRAY* è un modello tridimensionale per la simulazione della dispersione di inquinanti in atmosfera in grado di tenere conto delle variazioni del flusso e della turbolenza atmosferica sia nello spazio (condizioni disomogenee) che nel tempo (condizioni non stazionarie). E' inoltre in grado di ricostruire campi di concentrazione determinate da sorgenti puntiformi, lineari, areali o volumetriche. L'inquinante è simulato da "particelle virtuali" il cui movimento medio in un dominio tridimensionale è definito dal vento locale e la cui dispersione è ottenuta da velocità casuali soluzioni di equazioni differenziali stocastiche, che riproducono le caratteristiche statistiche

della turbolenza atmosferica locale. In questo modo, differenti parti del pennacchio emesso possono "vedere" differenti condizioni atmosferiche, permettendo simulazioni più realistiche in condizioni difficili da riprodurre con modelli tradizionali (calma di vento, inversione di temperatura con la quota, impatto con orografia complessa, dispersione in siti con forti discontinuità spaziali tipo terra-mare o città-campagna).

SPRAY simula la dispersione di inquinanti all'interno di un dominio di calcolo a forma di parallelepipedo in cui il contorno inferiore è rappresentato da una *funzione orografica zg(x,y)* ottenuta interpolando con una forma bilineare le quote del terreno all'interno di ogni cella di un grigliato bidimensionale fornito dall'utente.

Senza entrare in troppi particolari, moto di ogni particella viene ricostruito utilizzando le seguenti equazioni:

$$x(t+\Delta t) = x(t) + u_x(t)\cdot \Delta t \quad ; \quad u_x(t) = \overline{U_x}(t) + u'_x(t)$$
$$y(t+\Delta t) = y(t) + u_y(t)\cdot \Delta t \quad ; \quad u_y(t) = \overline{U_y}(t) + u'_y(t)$$
$$z(t+\Delta t) = z(t) + u_z(t)\cdot \Delta t \quad ; \quad u_z(t) = \overline{U_z}(t) + u'_z(t)$$

dove x, y, z rappresentano le coordinate cartesiane di ogni singola particella nel dominio tridimensionale e u_x, u_y, u_z le componenti delle velocità, suddivise in parte media e fluttuazione turbolenta. La parte media, responsabile del trasporto degli inquinanti, fa parte dell'insieme delle informazioni meteorologiche di cui si parlerà nel paragrafo successivo. Le velocità medie sono descritte attraverso matrici tridimensionali di vento nel sistema di riferimento *terrain-following x,y,s*, in cui la coordinata verticale s è definita come:

$$s = \frac{z - z_g}{z_{top} - z_g}$$

dove z è la coordinata geometrica verticale, z_{top} l'altezza del dominio di calcolo e $z_g(x,y)$ l'altezza dell'orografia. *SPRAY* consente di simulare condizioni non stazionarie interpolando linearmente nel tempo il valore tra quelli di due matrici successive.

Le fluttuazioni turbolente u'_x, u'_y e u'_z, responsabili della diffusione, sono determinate risolvendo le seguenti equazioni differenziali stocastiche di Langevin:

$$u'_i(t+\Delta t) = a_i(\vec{x},\vec{u}(t),t) + b_i(\vec{x},\vec{u}(t),t)\Delta) \quad ; \quad i = x,y,z$$

dove a e b sono funzioni della posizione e della velocità di ogni particella e dipendono dalle caratteristiche della turbolenza e dallo schema risolutivo utilizzato. *SPRAY* implementa entrambi gli schemi indicati da Thomson nel 1984 e 1987. $\Delta\xi$ rappresenta un incremento swtocastico estratto da una distribuzione gaussiana standardizzata (nel caso Thomson 1987) o non-gaussiana (Thomson 1984). Le caratteristiche della turbolenza, in grado di determinare a, b e $\Delta\xi$, sono descritte da matrici tridimensionali nel sistema x,y,s delle deviazioni standard delle componenti orizzontali e verticali del vento σ_u, σ_v e σ_w e dei tempi di scala lagrangiani.

Queste matrici vengono generate dal processore di turbolenza TURKEY attraverso profili verticali di similarità che tengono conto delle caratteristiche del terreno e si basano sulle matrici bidimensionali di *altezza di rugosità z_o, albedo e rapporto di Bowen* (rapporto tra flusso di calore sensibile e latente sulla porzione di terreno considerata nel punto di griglia). Inoltre sono richiesti la radiazione solare globale, la temperatura e il gradiente termico verticale all'alba. In base a questi dati vengono calcolate le variabili turbolente di scala (altezza dello strato rimescolato h_{mix}, velocità d'attrito u_*, lunghezza di Monin-Obukhov L e velocità convettiva verticale di scala w_*) per ogni punto griglia mediante un pre-processore meteo (Paine, 1988). Vengono quindi generati i profili verticali delle variabili indicate in precedenza, attraverso relazioni dipendenti dalla stabilità atmosferica secondo gli schemi proposti da Hanna (1982). Opzionalmente, il codice può direttamente ricevere in input i campi bidimensionali di z_o, L, u_*, w_* e h_{mix} costruiti da un codice esterno generando, tramite il processore TURKEY, i profili verticali delle variabili necessarie al modello.

Inoltre, *SPRAY* è il grado di simulare l'innalzamento termico di effluenti caldi mediante opportune formule dinamiche (Anfossi, 1985), in grado di tenere conto delle variazioni verticali e orizzontali di vento e stabilità atmosferica.

L'ambiente operativo realizzato attualmente per il modello SPRAY è descritto tramite il diagramma a blocchi di *Figura 8. 33*.

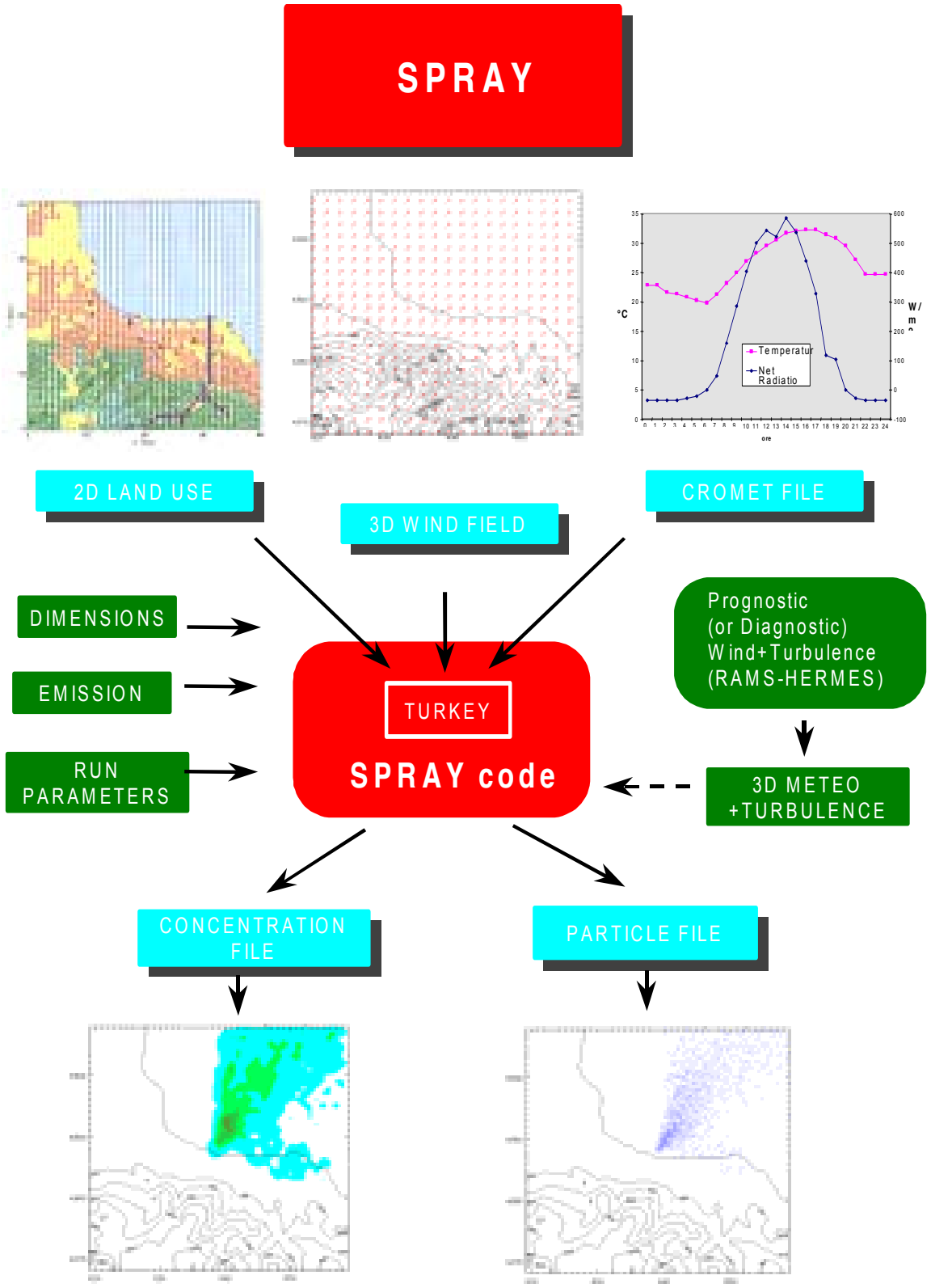


Figura 8.33: metodologia operativa del modello SPRAY

SPRAY riceve in input una serie temporale di campi tridimensionali di vento, in genere output di un modello meteorologico, in un formato binario. I campi di turbolenza possono essere generati internamente, come detto in precedenza, oppure forniti nello stesso file del vento medio, sullo stesso grigliato, come output di un modello fluidodinamico esterno. Inoltre si utilizzano files ASCII di input per la descrizione delle

sorgenti e dei parametri di *run*. Sono previste sorgenti multiple puntiformi, lineare e areali, ciascuna in grado di emettere differenti specie non reattive, con possibilità di simulare quindi sia ciminiere che strade. Il numero di particelle per ogni sorgente è selezionato dall'utente e il modello automaticamente ne determina la massa in funzione delle caratteristiche dell'emissione. Vengono inoltre fornite in ingresso le dimensioni dei principali vettori e delle matrici necessarie al codice, che provvede alla loro allocazione in modo dinamico senza la necessità di ricompilazioni.

Il modello è in grado di operare su periodi continuativi selezionati dall'utente con possibilità di effettuare *restart* intermedi, producendo ad intervalli prescelti:

- le coordinate di ogni particella attiva, assieme alla massa, età e sorgente di provenienza su un file ad accesso diretto;

- la concentrazione di inquinante su un grigliato terrain-following selezionato dall'utente, su tempi di media e ad intervalli prescelti, con il metodo del conteggio in volumi, su un file binario di struttura comune a quella dei file meteo in input

SPRAY è in grado di funzionare su diversi calcolatori (Workstations e Personal computer della classe Pentium) con differenti sistemi operativi (DEC-ALPHA/OpenVMS, Unix, Windows 95/98 e Windows NT) e può essere opportunamente adattato alle diverse esigenze di simulazione attraverso allocazioni dinamiche della memoria. Sono attualmente possibili due sistemi di post-processing grafico su macchine Unix e Windows 95/98/NT:

1. attraverso il sistema CIN-Graph, sviluppato su base PV-WAVE® è possibile plottare sezioni bidimensionali sia dei campi di vento e turbolenza in input, che dei campi di concentrazione e particelle prodotti in output dal modello a particelle;
2. attraverso l'uso del software Savi3D® di SSESCO, sia su Workstation UNIX che su personal computer, è possibile plottare viste tridimensionali su topografia e sezioni bidimensionali dei campi meteorologici, di concentrazione e dei pennacchi di particelle, con possibilità di effettuare animazioni nel tempo.

SPRAY raccoglie le esperienze e le ricerche sui modelli lagrangiani "a particelle" condotte, a partire dal 1987, da ricercatori dall'ENEL – Area Ambiente in collaborazione con istituti nazionali ed internazionali: è stato utilizzato per simulare

condizioni meteo-diffusive di complessità via-via crescente, verificandone i risultati in confronto con data-set sperimentali. Le esperienze più significative sono qui elencate in ordine cronologico:

- simulazione delle condizioni convettive ottenute negli esperimenti in vena idraulica di Willlis and Deardorff (Brusasca et al., 1987);
- confronto con dati sperimentali della campagna con traccianti nella valle de Reno presso Karlsruhe - Germania: sito pianeggiante e condizioni neutre e convettive (Brusasca et al., 1989);
- simulazioni in condizioni di forte stabilità e calma di vento: dati dell'esperimento con traccianti presso il laboratorio INEL in Idaho – USA (Brusasca et al., 1992);
- riproduzione degli esperimenti in galleria a vento condotti da EPA (USA) su collinette bi-dimensionali (Tinarelli et al., 1994);
- verifica della dispersione in orografia complessa reale: esperimento TRANSALP-89 con rilascio di tracciante nelle valli Levantina e Blenio – Svizzera (Anfossi et al., 1998):
- ricostruzione del campo di concentrazione al suolo dell'inquinante emesso dalla centrale termoelettrica di Sostanj – Slovenia e verifica con i dati della rete di monitoraggio (Boznar et al. 1994);
- controllo delle emissioni provenienti dalla discarica di Barricalla – Torino (Pacitti et al., 1997);
- simulazione in tempo reale delle emissioni delle centrali di Fusina e Marghera – Venezia (Stefani et al., 1997);
- studio dell'impatto delle emissioni da traffico e da riscaldamento della Regione Valle D'Aosta (Manzi et al., 1998).

SPRAY è inserito nell'elenco dei modelli segnalati dal rapporto "Modelli ad integrazione delle reti per la gestione della qualità dell'aria", Rapporto Istituto Superiore della Sanità 1993/36 ISSN 0391-1675. Inoltre in ambito europeo SPRAY è inserito nella "banca modelli" (MDS – Model Documentation System) accessibile via INTERNET all'indirizzo http://aix.meng.auth.gr/lhtee/database.html,

organizzata dal Centro tematico sulla Qualità dell'aria dell'Agenzia Europea (Topic center del RIVM in Olanda)

8.3 Gli impianti considerati

Lo studio è rivolto agli impianti di trattamento dei rifiuti presenti nel Lazio ed in particolare:

- alle discariche di:
  - Le Fornaci (Viterbo)
  - Fosso Crepacuore (Civitavecchia)
  - Cupinoro (Bracciano)
  - Cecchina (Albano)
  - Malagrotta (Roma)
  - Guidonia
  - Colleferro
  - Roccasecca (Frosinone)
  - Borgo Montello (Latina)

- ed ai termovalorizzatori di:
  - Colleferro
  - San Vittore del Lazio (Cassino)

Di tutti questi impianti sono state fornite in precedenza le caratteristiche distintive, mentre nella *Figura 8.34* sono localizzati geograficamente. I segnaposto, differenziati in base al colore, indicano differenti tipi di sorgente:

- il giallo rappresenta le discariche. Dal punto di vista della ricostruzione modellistica, una discarica è stata considerata una sorgenti areale. Per definirne l'*impronta* come detto si è usato come tracciante caratteristico l'H_2S. Nella realtà, queste sorgenti sono sostanzialmente delle aree con geometria altamente irregolare che non può essere gestita direttamente dal modello di simulazione della dispersione degli inquinanti in aria. Pertanto, è stato necessario rappresentare la discarica come un insieme di aree quadrate che approssimano il poligono di partenza. Un esempio di ciò è presentato nella *Figura 8.35* in cui sono visibili i lotti della discarica di Malagrotta (figura di sinistra) e l'approssimazione considerata (figura di destra). Le emissioni di questi impianti sono essenzialmente legate ai processi di degradazione e decomposizione della componente organica dei rifiuti che quotidianamente

vengono portati in discarica. L'aspetto principale è che le sostanze emesse non sono quelle che comunemente vengono misurate per determinare lo stato della qualità dell'aria ma fanno riferimento a contesti differenti, come l'*odore*, che seppur strettamente connessi con l'inquinamento atmosferico, vanno trattati in maniera profondamente differente. Da qui la scelta di considerare come elemento tracciante l'idrogeno solforato (H_2S) che rappresenta globalmente tutte le sostanza odorigene;

- il rosso indica gli impianti di incenerimento e/o termovalorizzazione che vengono modellati come sorgenti puntuali di cui dobbiamo conoscere localizzazione geografica, quota di rilascio, diametro interno della ciminiera, temperatura e velocità di uscita dei fumi ed emissioni annuali di inquinanti. Essendo interessati all'impronta dell'impianto, si è scelto come tracciante tipico l'insieme degli ossidi di azoto NO_x (ovvero PM_{10});

- in blu scuro è indicata la raffineria presente nell'area di Malagrotta, modellata anch'essa come sorgente puntuale; di conseguenza i parametri che caratterizzano tale sorgente sono gli stessi degli inceneritori.

Figura 8.34. Localizzazione dei differenti impianti di trattamento dei rifiuti considerati nello studio

geometria reale dei singoli lotti ***approssimazione modellistica dei singoli lotti***

Figura 8.35. Metodo adottato per rappresentare geometricamente le discariche.

8.4 La ricostruzione dell'impronta degli impianti

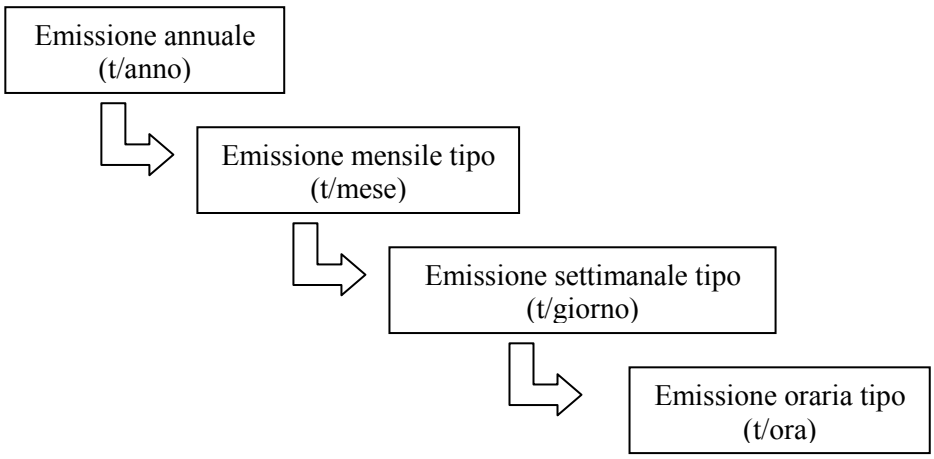
8.4.1 La metodologia impiegata

Sulla base di quanto detto, la ricostruzione dell'*impronta* dei vari impianti è stata condotta nel modo seguente:

- in primo luogo è stata individuato per ogni sito interessato dalla presenza di un impianto il dominio di simulazione, cioè l'area entro cui ricostruire gli effetti dell'impianto considerato sulla qualità dell'aria. Viste le caratteristiche degli impianti considerati, si è stabilito che un'area quadrata 30km x 30km centrata sull'impianto o sulla discarica in questione fosse adeguata a definirne in maniera completa l'*impronta ambientale*. La risoluzione orizzontale adottata è stata di 500 m;

- sono state definite le emissioni delle diverse sorgenti presenti e che potenzialmente possono contribuire all'inquinamento locale. Impianto per impianto, è stata individuata la localizzazione delle singole emissioni, la quantità ed il tipo degli inquinanti emessi, la variazione caratteristica nel tempo di tali emissioni e le modalità della loro emissione (altezza di rilascio, velocità

dei fumi e relativa temperatura). Un'accurata stima di ciò è l'ingrediente essenziale per una realistica modellizzazione della dispersione degli inquinanti in aria. Come si è visto, ciascun impianto è stato caratterizzato da una sostanza *marker* (gli ossidi di azoto per i termovalorizzatori e l'idrogeno solforato per le discariche) e dal relativo tasso di emissione annuo. Il modello di dispersione richiede, però, tassi di emissione a livello orario, non realmente disponibili. Pertanto, in mancanza di informazioni specifiche riguardanti i coefficienti di modulazione temporale richiesti dal modello, le emissioni puntuali e le sorgenti areali (discariche) sono state distribuite uniformemente lungo tutto il periodo di calcolo poiché si è ritenuta essere questa la scelta più conservativa. Sostanzialmente è stata adottata l'ipotesi di massima operatività delle sorgenti simulate lungo tutto l'arco delle 24 del giorno tipo compatibilmente con i valori annui di emissione. Lo schema di passaggio da un valore di emissione annuo ai tassi di emissione oraria è qui di seguito riportato.



avendo a disposizione i campi meteorologici ad elevata risoluzione per tutto il territorio laziale, da essi sono state estratte le porzioni relative ai singoli impianti che sono state utilizzate dal modello di dispersione lagrangiano a particelle.

Il modello di dispersione SPRAY ha considerato ogni singola ora dell'anno di riferimento e per ciascuna ora ha prodotto il campo di concentrazione media oraria a livello del suolo per il marker dell'impianto. Al termine della simulazione, da tutti questi campi orari si è ottenuto il campo della concentrazione media annuale. Nella sua grafitazione sono stati evidenziati le varie superfici di isoconcentrazione tra il valore massimo di concentrazione riscontata e la concentrazione pari a 0.1 il valore massimo. Per quanto detto in precedenza, si è quindi giunti alla definizione

dell'*impronta* di ciascuno degli impianti considerati.

8.4.2 Il footprint degli impianti

L'applicazione della metodologia sopra descritta ha consentito di individuare il *footprint* di ognuno degli impianti considerati. Qui di seguito vengono presentati i risultati ottenuti (si veda tavola 4).

8.4.2.*1 Discariche*

Per ciascuna delle discariche oggetto dello studio, tranne la discarica di Malagrotta di cui si parlerà nel seguito, è stato ricostruito il *footprint* relativo relativamente al *marker* che è l'idrogeno solforato H_2S. Qui di seguito viene riportata la distribuzione spaziale della concentrazione media annua di H_2S. Nelle mappe, su cui sono riportate le principali indicazioni geografiche del sito in esame, è evidenziata la mappa in falsi colori della distribuzione al suolo della concentrazione media annua della sostanza *marker*. Per semplificare la lettura, l'estensione massima della zona in colore azzurro rappresenta il *footprint* dell'impianto, cioè il luogo dei punti in cui la concentrazione della sostanza *marker* risulta non inferiore 0.1 volte la concentrazione massima.

Nella Tabella 8.2 vengono riportate per ciascuna discarica sia l'emissione totale annua che la concentrazione massima stimata sulla base della meteorologia considerata e delle caratteristiche orografiche della zona.

Discarica	**Emissione Annua [t/a]**	**Cmax [μg/m³]**
Viterbo – Le Fornaci	1,07	1,18
Civitavecchia – Fosso Crepacuore	0,15	0,11
Bracciano - Cupinoro	0,38	0,31
Albano - Cecchina	0,45	0,23
Guidonia - Inviolata	0,53	0,35
Colleferro – Colle Fagiolara	1,01	0,75
Frosinone - Roccasecca	0,23	0,31
Latina – Borgo Montello	2,92	1,19

Tabella 8.2. Emissione di H_2S delle discariche e relativa concentrazione stimata

Per meglio apprezzare i risultati ottenuti, nella *Figura 8.36* seguente viene evidenziata la relazione esistente tra le emissioni annuali di H_2S di ciascuna discarica e la concentrazione massima stimata. Come si può vedere:

- non esiste una relazione lineare tra le emissioni annue e le concentrazioni

massime stimate,

- comunque ipotizzando informalmente una relazione lineare tra emissioni e concentrazioni massime, risulta evidente che la concentrazione massima relativa alla discarica di Frosinone – Roccasecca risulta decisamente superiore alla media regionale, cosa che evidenzia come l'area di Frosinone sia particolarmente critica dal punto di vista della dispersione degli inquinanti in aria,

- viceversa, la concentrazione massima relativa alla discarica di Borgo Montello (Latina) risulta decisamente inferiore a quanto si potrebbe prevedere e ciò è il risultato diretto dell'azione benefica che le condizioni costiere possono avere nei confronti della dispersione degli inquinanti in aria,

- a rafforzare il fatto che le concentrazioni al suolo non sono direttamente proporzionali alle emissioni è il caso delle discariche di Bracciano e di Albano. Mentre le emissioni annue di Albano risultano superiori di oltre il 15% a quelle di Bracciano, la concentrazione massima di Albano risulta inferiore di quasi il 35%. Tutto ciò è opera della diversa capacità disperdente delle due zone e delle diverse condizioni orografiche.

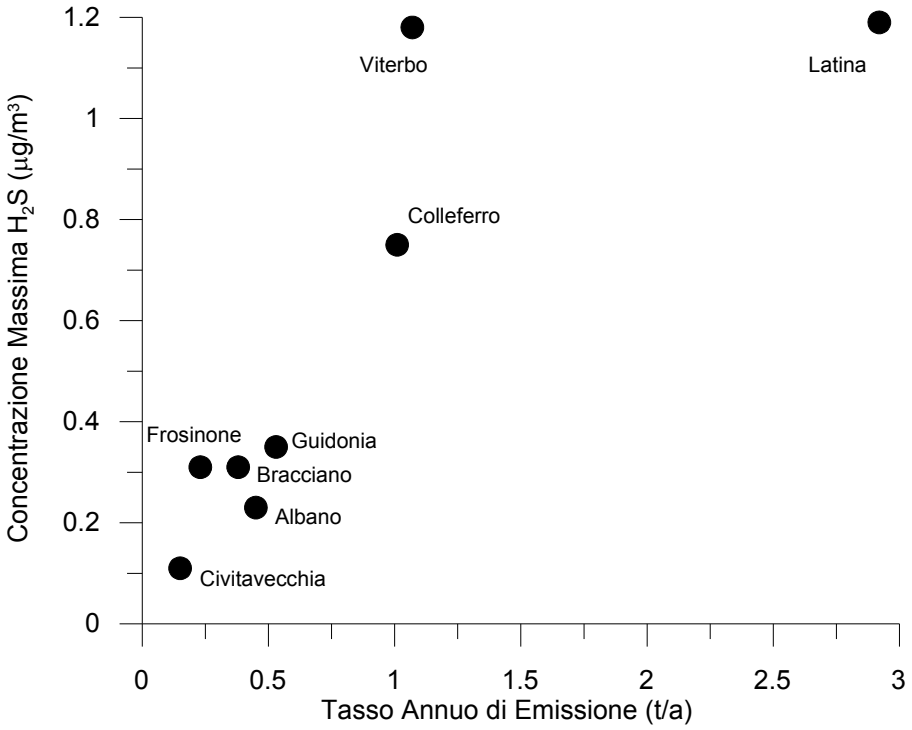
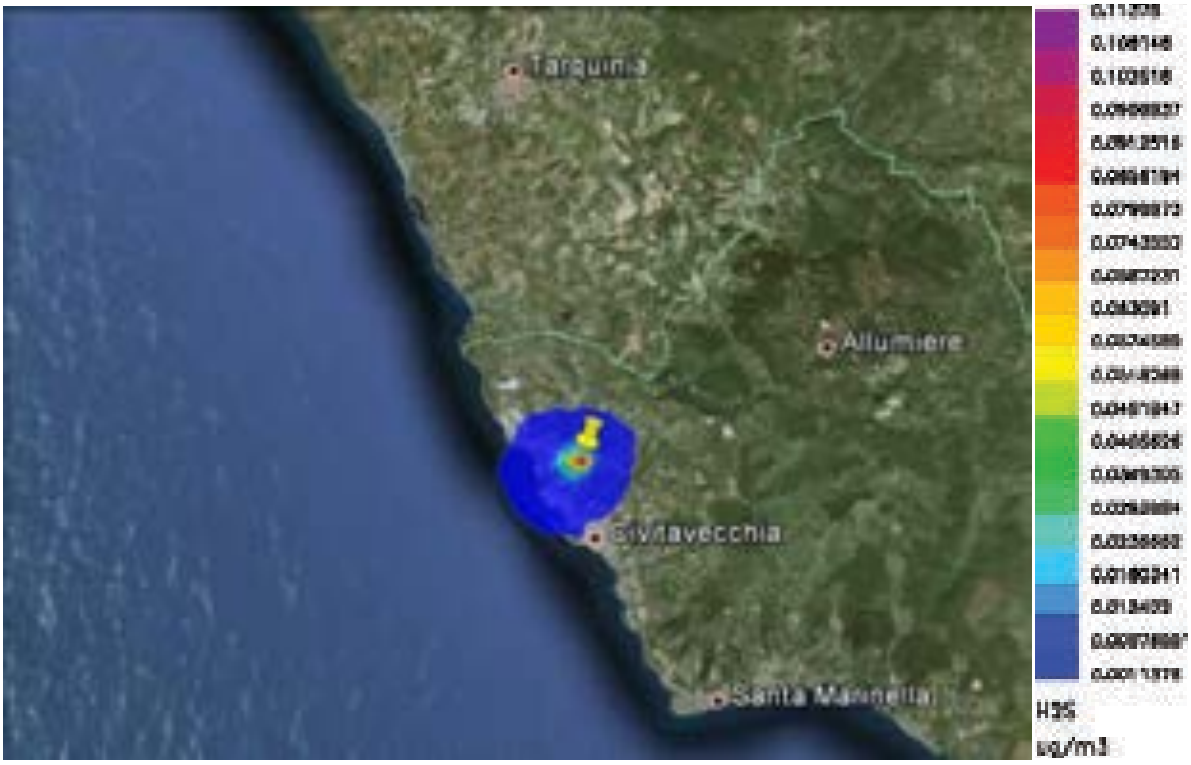


Figura 8.36. la concentrazione media annua di H_2S in funzione delle emissioni annue

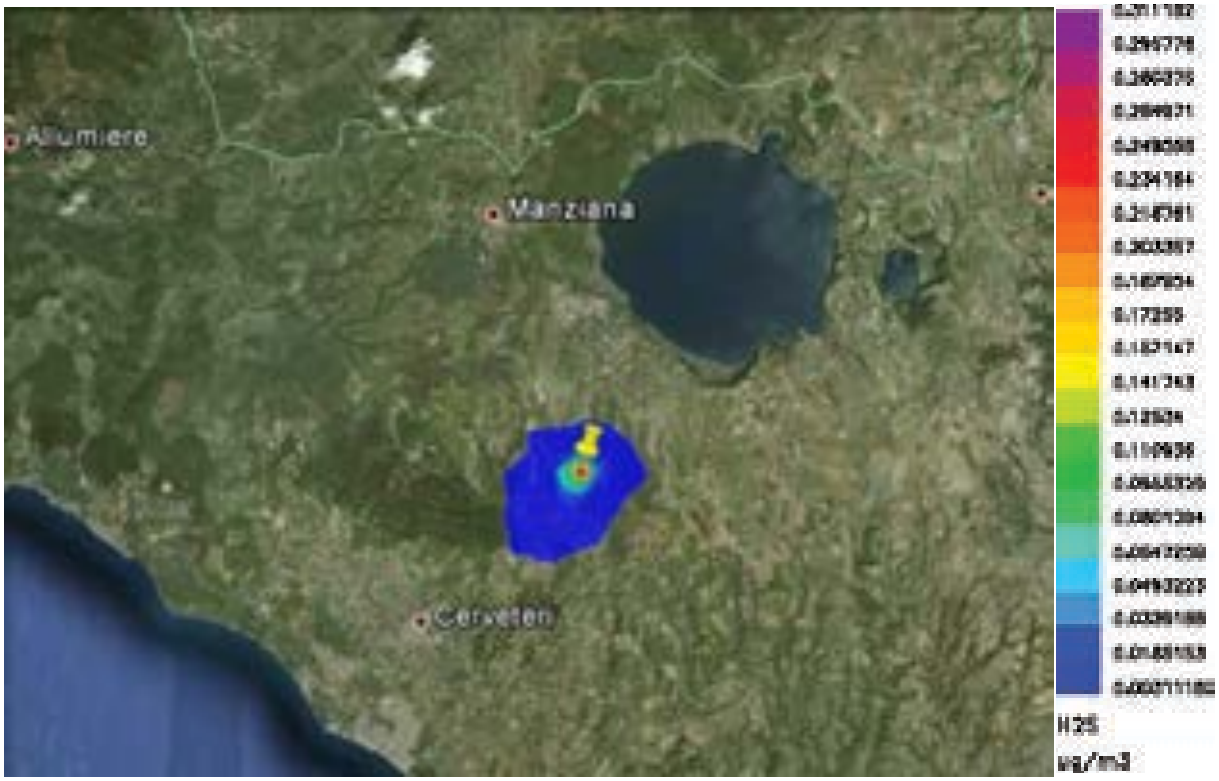
Per completare il quadro, qui di seguito vengono presentate le mappe che descrivono nei dettagli il *footprint* delle varie discariche considerate.

Discarica di Viterbo – Le Fornaci

Discarica di Civitavecchia – Fosso Crepacuore



Discarica di Bracciano – Cupinoro

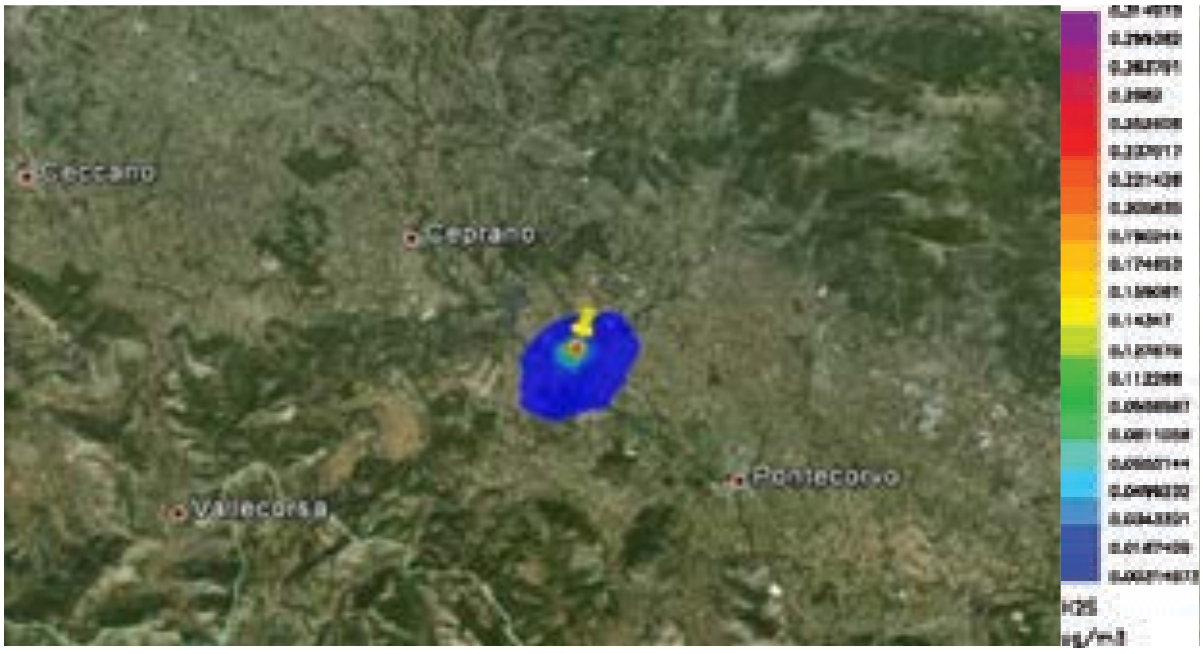


Discarica di Albano - Cecchina

Discarica di Guidonia

Discarica di Colleferro – Colle Fagiolara

Discarica di Frosinone - Roccasecca



Discarica di Latina – Borgo Montello

8.4.2.2 *Termovalorizzatori*

Se si esclude Malagrotta, caratterizzata da una complessa situazione in cui convivono impianti diversi e di cui si tratterà nel seguito, i termovalorizzatori attivi nel Lazio sono i due impianti gemelli di Colleferro (quello della società EP-Sistemi e quello della società Mobile-Service) e l'impianto di San Vittore del Lazio (Cassino).

Come già si è detto, la sostanza *marker* per i termovalorizzatori costituita dagli ossidi di azoto NO_X (ovvero PM_{10}), essendo essi impianti di combustione. Come si nota dalla tabella 8.3, le caratteristiche dei tre impianti sono molto simili, a parte le emissioni annue di sostanza marker. In particolare, tutti questi impianti sono dotati di una ciminiera relativamente elevata ed i fumi vengono emessi ad una temperatura elevata (circa 140°C) e ad una velocità abbastanza elevata (circa 8 m/s): queste condizioni di emissione dei fumi garantiscono una ragionevole dispersione degli inquinanti, diminuendo l'impatto sulla concentrazione al suolo.

Termovalorizzatore	**Altezza camino [m]**	**Diametro camino [m]**	**Temp. di uscita dei fumi [K]**	**Vel. di uscita dei fumi [m/s]**
Colleferro EP-SISTEMI Colleferro MOBIL-SERVICE	50	2,69	413,15	7,75
San Vittore - Cassino	50	2,7	413	8

Tabella 8.3. Caratteristiche degli impianti di termovalorizzazione

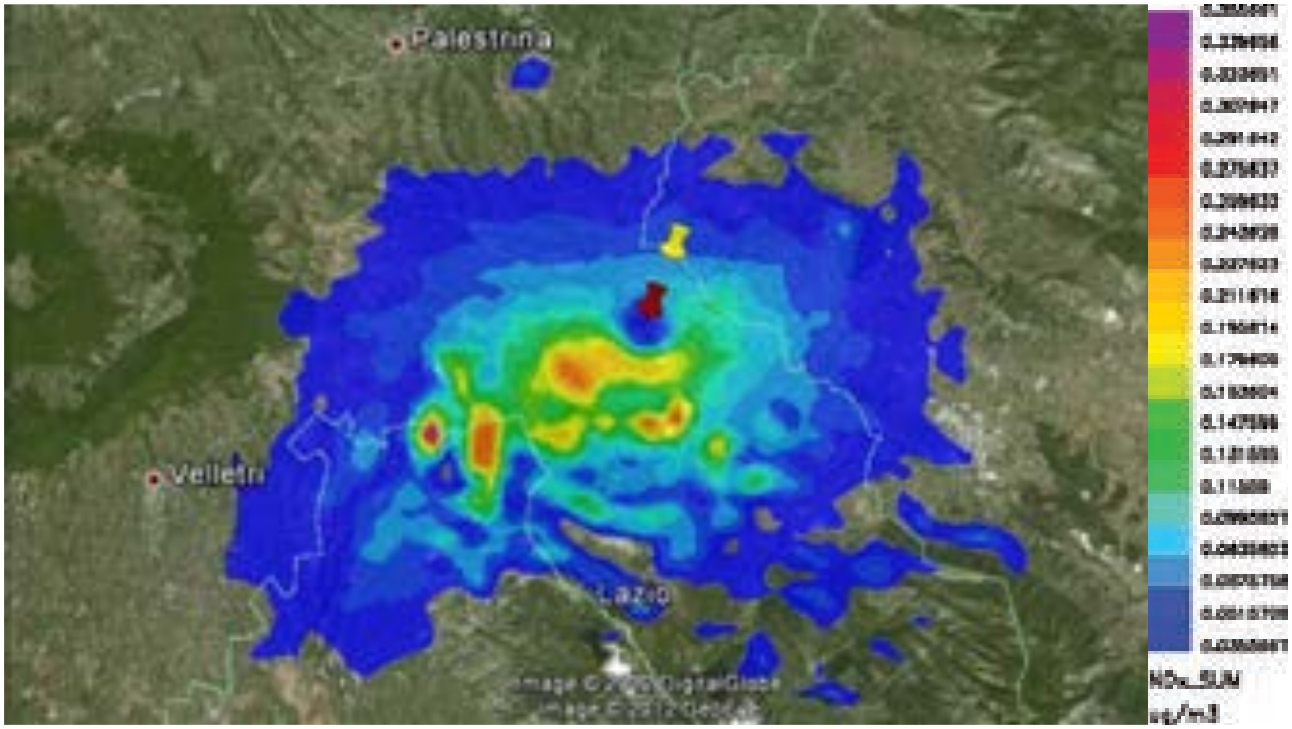
Nella tabella 8.4 sono riportate le emissioni annue di ossidi di azoto e la relativa concentrazione annua massima stimata al suolo. E' interessante notare come I due termovalorizzatori di Colleferro assieme emettano a livello annuo una quantità di ossidi di azoto del 3.6% inferiori alle emissioni annue registrate per il termovalorizzatore di San Vittore, ma a fronte di ciò, la concentrazione annua massima di NO_X dovuta agli impianti di Colleferro sia di circo 8% inferiore a quella stimata per il termovalorizzatore di S. Vittore. Ciò è dovuto all'orografia decisamente tormentata che caratterizza il territorio di San Vittore del Lazio con incanalamenti e blocchi che determinano locali situazioni di concentrazioni elevate.

Termovalorizzatore	Tasso emissione [t/a]	C_{max} [$\mu g/m^3$]
Colleferro EP-SISTEMI Colleferro MOBIL-SERVICE	53,348 55,188	0,35
San Vittore - Cassino	111	0,38

Tabella 8.4. Emissione di NO_x dei termovalorizzatori

In effetti, tutti questi impianti sono collocati in territori ad orografia piuttosto complessa, come si può vedere dal *footprint* degli impianti qui di seguito riportati, anche se la situazione di San Vittore del Lazio è decisamente la più complessa in assoluto.

Termovalorizzatori di Colleferro



Termovalorizzatore di San Vittore del Lazio (Cassino)

8.4.2.3 *Area complessa di Malagrotta*

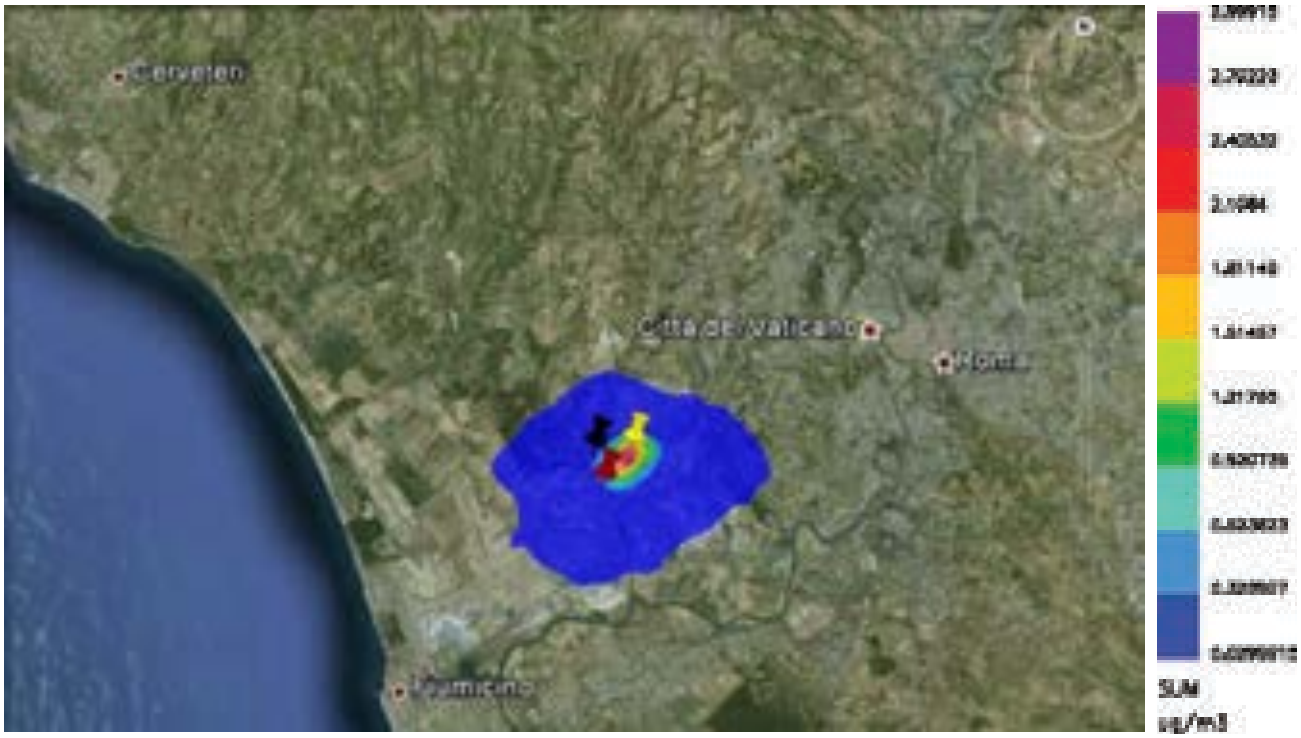
E' possibile identificare l'area di Malagrotta ed il relativo comprensorio industriale come l'area racchiusa tra i segmenti stradali appartenenti alle seguenti strade: il Grande Raccordo Anulare (GRA), la Via Aurelia, l'Autostrada Roma-Fiumicino, e l'Autostrada Roma-Civitavecchia.

Dal punto di vista emissivo la zona è da considerare ad elevata criticità e complessità a causa della presenza di differenti tipologie di sorgenti emissive (sorgenti stradali, industriali e diffuse come il riscaldamento residenziale), che influenzano le concentrazioni rilevate al suolo delle sostanze inquinanti. Nell'ambito del presente studio ci si è focalizzati nell'individuazione di tre distinti *footprint*: quello relativo alla discarica di Malagrotta, quello relativo alla Raffineria di Roma e quello relativo all'inceneritore AMA di rifiuti ospedalieri.

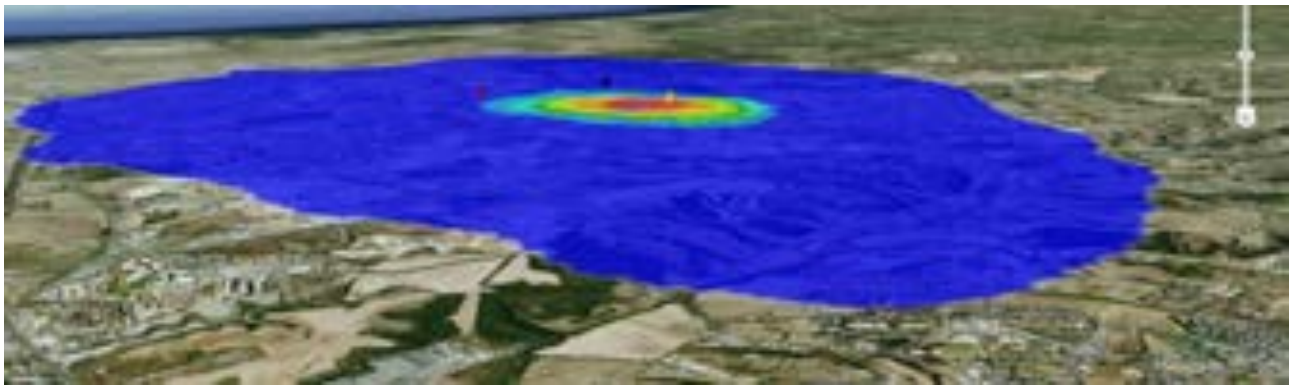
<u>Discarica</u>

Della discarica di Malagrotta è stato considerato l'insieme dei lotti coltivati a partire dal 1984. Avendo a disposizione i dati sui singoli lotti, sono state effettuate simulazioni distinte per ogni singolo lotto sull'intero anno, dopodiché i risultati sono stati sommati per avere il quadro complessivo sulle emissioni determinate dalla discarica. Anche in questo caso, trattandosi di una discarica, la sostanza *marker* considerata è l'idrogeno solforato (H_2S) e le quantità emesse sono state stimate in 11 t/a.

Nella figura seguente viene mostrata la distribuzione media annua di H_2S rappresentata con le solite convenzioni. La concentrazione media annua massima stimata sull'intero dominio di calcolo è risultata pari a circa 3 $\mu g/m^3$ e dalla figura si individua chiaramente la zona entro cui la concentrazione media annua risulta non inferiore 0.1 volte la concentrazione massima, che costituisce il *footprint* della discarica di Malagrotta



Nella figura seguente viene mostrata la versione tridimensionale del *footprint*. Da essa si nota come la situazione orografica non particolarmente complessa non induca disomogeneità particolari nel *footprint* che risulta sostanzialmente regolare.



<u>Raffineria</u>

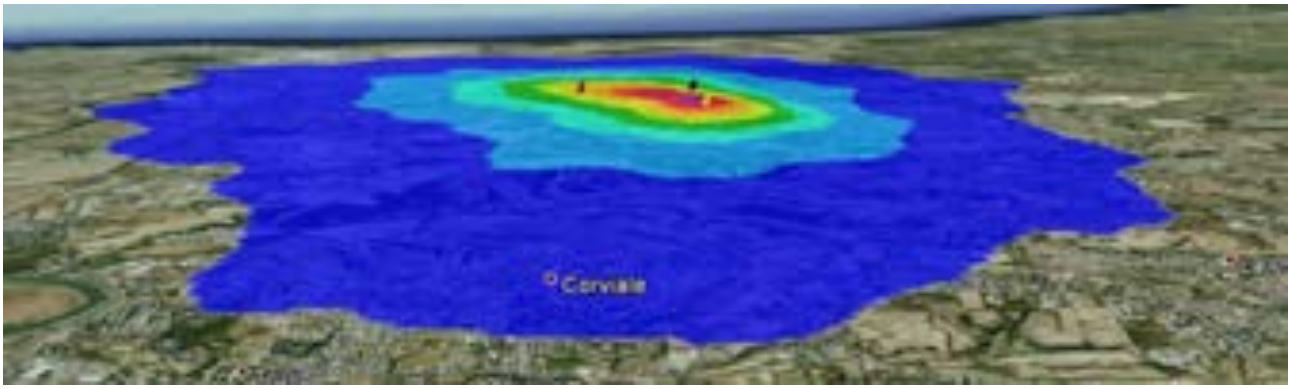
Come per i termovalorizzatori, anche per la determinazione del *footprint* della Raffineria di Roma è stata scelta come sostanza *marker* gli ossidi di azoto NO_X.

Le sorgenti di emissioni presenti all'interno dell'impianto sono numerose e sono riassunte nella tabella seguente in cui sono riportate sia la localizzazione di ogni singolo punto di emissione, che le rispettive caratteristiche emissive.

Camino	X (UTM32)	Y (UTM32)	Altezza camino [m]	Diametro camino [m]	Temperatura [K]	Velocità di uscita fumi [m/s]	Emissione NO_X [t/a]
H2701	775821	4639223	72	2,9	623	4,9	71,5
H2051	775963	4639191	70	1,9	508	3,8	103,5
H2101	775945	4639220	36	1,2	723	2,4	5,2
H2102	775937	4639218	37	1,2	663	1,9	6,3
H2451	775924	4639286	40	1,1	498	5,9	14,8
H2303	775913	4639309	41	2,1	538	1,1	11,4
H2301A/B	775921	4639327	40	2,2	573	3,5	33,1
H2351	775909	4639325	43	2,4	493	1	15,8
H2201	775901	4639322	31	1,5	603	2,6	11,1
H2251	775827	4639275	65	2,5	493	2,7	25,9
H2901	775841	4639242	31	0,9	523	5,1	10,9
H2902	775835	4639236	36	0,8	543	5,3	9
X0501B	776011	4639404	25	1,8	423	5,4	80,6
H2603	776011	4639404	26	0,9	553	2,2	4,4
H3102	775984	4639725	50	1,4	773	1,2	2,7
H1701	775968	4639132	12	7,3	*	*	7

Tabella 8.5. Caratteristiche delle sorgenti di emissione di Malagrotta

Tutte queste emissioni sono state considerate nella ricostruzione modellistica del *footprint* della raffineria giungendo alla situazione illustrata nella prima delle figure seguenti in cui è rappresentata la porzione di territorio interessata da una concentrazione media annua di ossidi di azoto non inferiore a 0.1 volte la concentrazione massima (circa 3 $\mu g/m^3$) stimata nell'intero dominio di calcolo. Nella figura successiva, viene presentato ancora una volta il *footprint* della raffineria, ma in visione tridimensionale e da essa si apprezza il fatto che anche in questo caso non ci sono irregolarità rilevanti indotte dalla presenza di orografia.



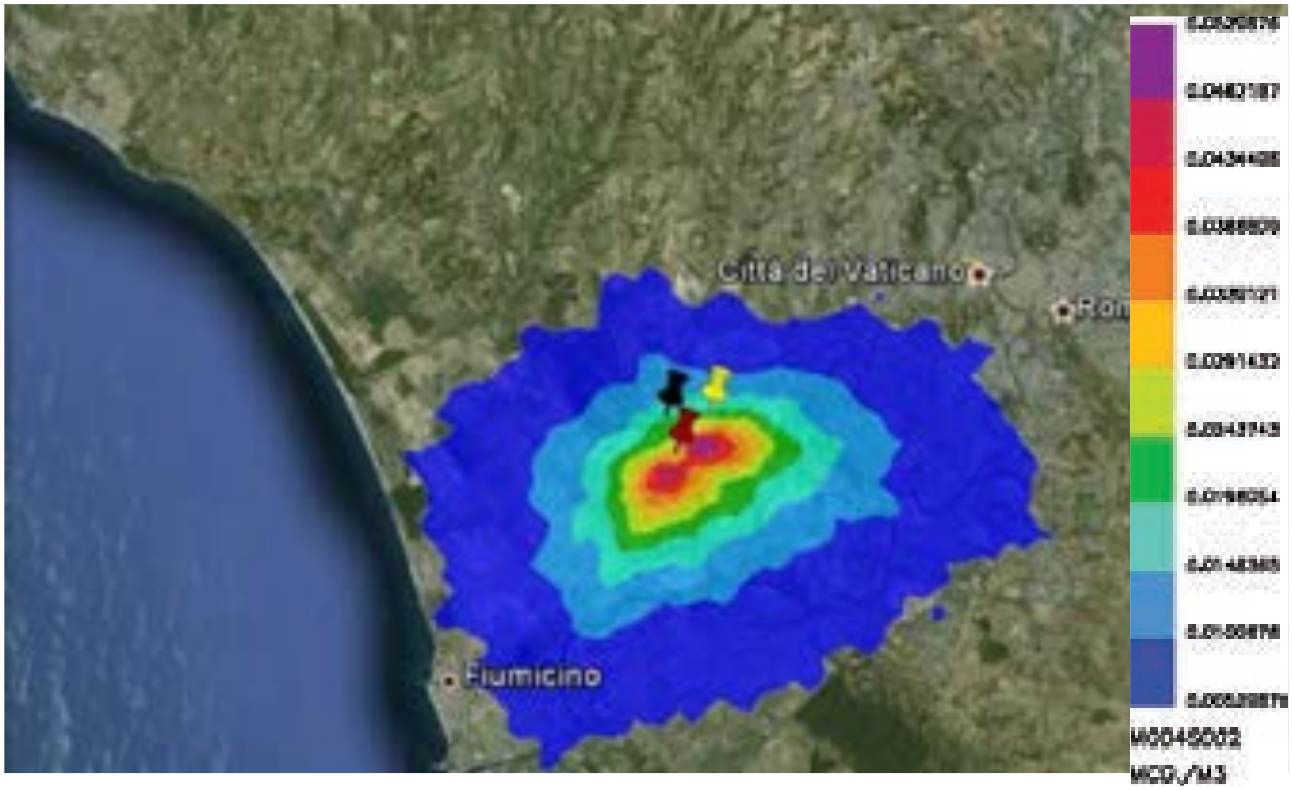
Inceneritore AMA

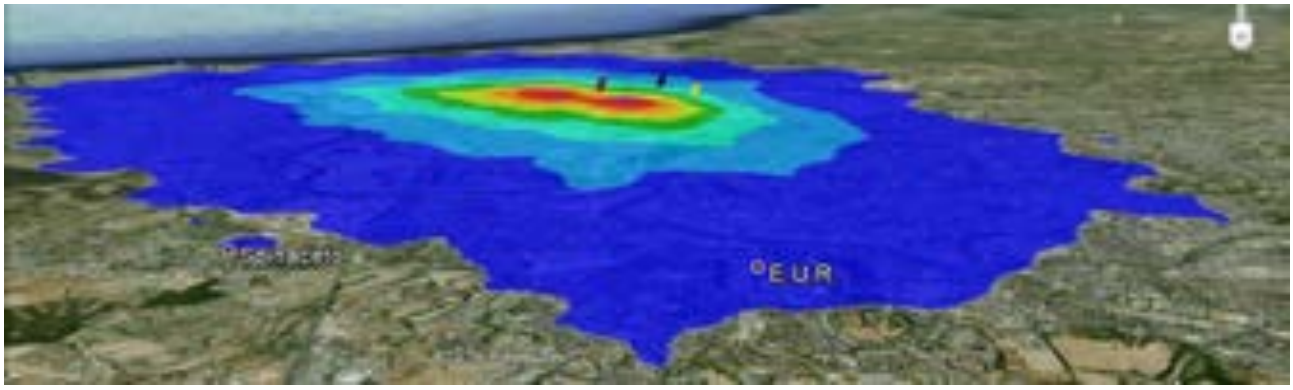
L'ultimo impianto considerato nell'Area di Malagrotta è l'inceneritore dei rifiuti ospedalieri dell'AMA. Per la determinazione del *footprint* di tale impianto è stata considerata la ciminiera di cui è dotato, le cui caratteristiche sono riassunte nella tabella seguente. Come si vede, anche per l'inceneritore è stata considerata come sostanza *marker* gli ossidi di azoto.

Impianto	Altezza camino [m]	Diametro camino [m]	Temp. di uscita dei fumi [K]	Vel. di uscita dei fumi [m/s]	Emissione NO_X [t/a]
Inceneritore AMA di rifiuti ospedalieri	80	1,13	387,15	15,5	14,58

Tabella 8.6. Caratteristiche dell'inceneritore dei rifiuti ospedalieri di Malagrotta.

Come si nota, la notevole altezza della ciminiera e la elevata velocità di uscita dei fumi fanno sì che questo impianto presenti un impatto estremamente ridotto sul territorio circostante come è evidenziato nelle figure seguenti, in cui per rendere visibile tale impatto, si è adottato, difformemente da quanto fatto in precedenza, un limite per la zona caratterizzata dalla distribuzione di concentrazione pari a 0.01 volte la concentrazione massima stimata, che è risultata pari a 0.05 $\mu g/m^3$.





9 Conclusioni

L'analisi ambientale è stata condotta sia attraverso l'elaborazione delle informazioni raccolte che mediante la valutazione dei risultati dei monitoraggi e delle simulazioni modellistiche, ed aveva, come obiettivo principale la costruzione di un quadro di riferimento finalizzato ad una accurata analisi epidemiologica dell'impatto del ciclo integrato dei rifiuti urbani.

Nel comporre il quadro ambientale di riferimento sono stati elaborati specifici indicatori in grado, a diverse scale territoriali, di fotografare e di permettere una lettura articolata del contesto territoriale, dei fattori di pressione maggiormente rilevanti e di conseguenza dello stato dell'ambiente.

Le scale territoriali considerate sono:

1. **Ambito territoriale dell'impianto**: superficie pari a circa 28 kmq e definita da un cerchio di raggio 3 km centrato sull'impianto.
2. **Comuni limitrofi**: comuni contenuti, anche solo parzialmente, nell'Ambito territoriale dell'impianto.
3. **Ambito territoriale area vasta**: costituito dal territorio delle provincie del Lazio in cui sono presenti impianti oggetto del programma. E' quindi costituito dalle provincie di Frosinone, Latina, Roma e Viterbo.

Per maggiore chiarezza di seguito è figurato l'*Ambito territoriale area vasta* (fig.9.1 area colorata) ed a titolo d'esempio si è riportato, per la discarica di Colleferro, l'*Ambito territoriale dell'impianto* e i *Comuni limitrofi* (fig.*9.*2).

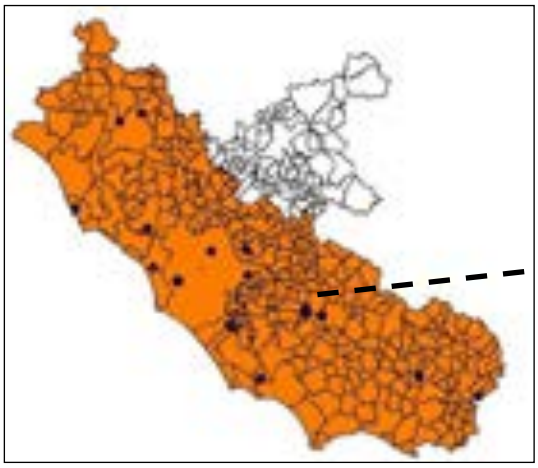


Figura 9.1. Ambito territoriale area vasta-impianti

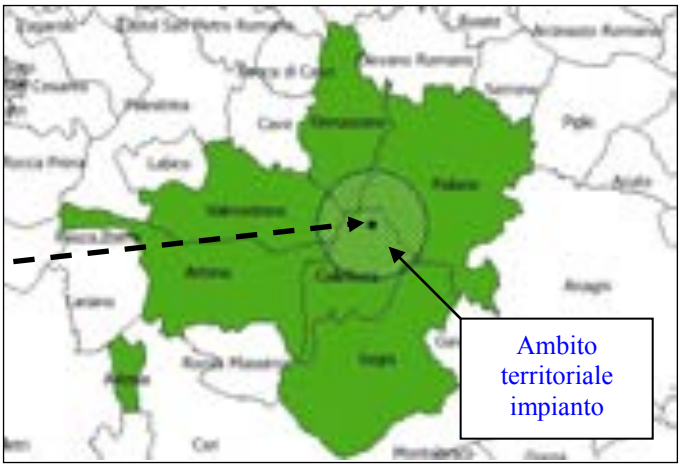


Figura 9.2. Comuni limitrofi

Gli ambiti territoriali così definiti sono stati utilizzati come base di riferimento per tutti gli impianti di trattamento dei rifiuti sotto elencati.

DISCARICHE		
Codice	**Località**	**Comune**
D1	Malagrotta	Roma
D2	Inviolata	Guidonia
D3	Cecchina	Albano Laziale
D4	Colle Fagiolara	Colleferro
D5	Le Fornaci	Viterbo
D6	Borgo Montello	Latina
D7	Cerreto	Roccasecca
D8	Cupinoro	Bracciano
D9	Fosso Crepacuore	Civitavecchia
TERMOVALORIZZATORE		
Codice	**Località**	**Comune**
T1	Valle Porchio	San Vittore del Lazio
T2	Colle Sughero	Colleferro
T3	Malagrotta (Gassificatore)	Roma
TRATTAMENTO MECCANICO BIOLOGICO		
Codice	**Località**	**Comune**
TMB1	S. P. Ortella	Colfelice
TMB2	Cecchina	Albano Laziale
TMB3	Casale Bussi	Viterbo
TMB4	Malagrotta 1	Roma
TMB5	Rocca Cencia	Roma
TMB6	Malagrotta 2	Roma
TMB7	Roma Salaria	Roma

Tabella 9.1. Impianti di trattamento dei rifiuti con rispettiva località e comune della sede e codice identificativo all'interno del programma ERAS

In questo modo ai 21 impianti oggetto del programma ERAS sono state associate 13 aree di riferimento successivamente aggregate nel complesso delle 10 discariche, dei 3 termovalorizzatori, dei 7 impianti di trattamento meccanico biologico e dell'area complessa di Malagrotta.

Aree Omogenee	Codici impianti	Comuni limitrofi
01 (Malagrotta)	D1 TMB 4/TMB6 T3	Roma
02 (Viterbo)	D5 TMB3	Viterbo, Montefiascone Viterbo, Vitorchiano
03 (Albano)	D3 TMB2	Albano, Aprilia, Ardea, Ariccia, Pomezia, Roma
04 (San Vittore)	T1	S.Vittore Cassino Cervaro
05 (Colleferro)	T2 D4	Colleferro Artena Genazzano Paliano Segni Valmontone

Aree Omogenee	Codici impianti	Comuni limitrofi
06 (Guidonia)	D2	Guidonia Fonte Nuova Sant'Angelo Romano
07 (Borgo Montello)	D6	Latina
08 (Salaria)	TMB7	Roma
09 (Rocca Cencia)	TMB5	Roma
10 (Roccasecca)	D7	Roccasecca Arce Colfelice Pontecorvo San Giovanni Incarico
11 (Bracciano)	D8	Bracciano Cerveteri
12 (Civitavecchia)	D9	Civitavecchia
13 (Colfelice)	TMB1	Colfelice Arce Roccasecca Pontecorvo San Giovanni Incarico

Tabella 9.2. Elenco delle aree omogenee con i rispettivi impianti di trattamento dei rifiuti e comuni limitrofi

Tale approccio, consente una valutazione a diversi livelli di scala utile ad ottimizzare il processo di valutazione epidemiologica. La costruzione del quadro ambientale di riferimento è stata, secondo le finalità del programma, principalmente orientata all'analisi degli impatti sull'ecosistema atmosfera che rappresenta il principale collegamento tra gli effetti ambientali e le cause di danno alla salute umana per queste tipologie di impianti.

Nel periodo 1999-2008 sono stati prodotti circa 34 milioni di tonnellate di rifiuti urbani per un equivalente di circa 600 kg/anno di rifiuti prodotti a persona. Il sistema delle discariche ha smaltito circa 29 milioni di tonnellate di rifiuti, il ciclo di termovalorizzazione ha trattato circa 1.3 milioni di tonnellate a partire dall'anno 2002, il sistema dei TMB ha trattato circa 6.5 milioni di tonnellate di rifiuti a partire dal 2005.

Complessivamente le aree in esame ricadono su 30 comuni e la popolazione residente è pari a 3.6 milioni di cui 2.7 residenti a Roma (5.6 milioni nella regione). La popolazione residente all'interno degli Ambiti territoriali degli impianti è pari a 290.000 dei quali 86.000 nell'area complessa di Malagrotta e solo 620 nell'area della discarica provinciale di Viterbo.

Nei paragrafi successivi, sono delineate le sintesi e le considerazioni conclusive relative al sistema delle discariche, all'area complessa di Malagrotta, al ciclo di termovalorizzazione dei rifiuti e al sistema di trattamento meccanico biologico.

In generale, il riferimento temporale considerato, 1996 - 2008, comprende il periodo in cui sono state condotte le valutazioni di tipo epidemiologico; naturalmente non tutti gli indicatori di caratterizzazione ambientale hanno un riferimento temporale che copre tutto il periodo e quindi la valutazione complessiva deve essere condotta armonizzando le informazioni a scala temporale/spaziale differente. Si pensi, per esempio, alla rete regionale di qualità dell'aria i cui dati utilizzati sono dal 1999 al 2011 mentre le campagne sperimentali sono state realizzate dal 2008 al 2012.

In tal senso, l'andamento temporale dei principali inquinanti rilevati dalla rete regionale fornisce un'importante indicazione circa i potenziali tassi di esposizione della popolazione rispetto alla finestra temporale di riferimento, e rappresenta quindi uno strumento di confronto con gli indici di pressione ambientale descritti nel seguito.
Per valutare l'andamento medio della qualità dell'aria a scala regionale, è stato calcolato il valore medio annuo per le diverse sostanze inquinanti considerando tutte le stazioni di misura. Tali valori indicano che rispetto al decennio in osservazione (1999-2008), negli ultimi tre anni, le concentrazioni degli inquinanti diminuiscono rispettivamente del:

-61% per il benzene
-13% per il biossido di azoto (NO_2)
-22% per il particolato fine (PM_{10})
-31% per il biossido di zolfo (SO_2)
+06% per l'ozono (O_3).

Tale variazione media è principalmente dovuta alle articolate politiche di riduzione e contenimento delle emissioni di inquinanti in atmosfera.

Indici della qualità dell'aria: media annua di tutte le stazioni di monitoraggio della regione Lazio													
[μg/m^3]	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
C_6H_6	8.57	7.12	7.75	6.24	5.03	4.80	4.53	3.93	2.75	2.60	2.31	2.02	1.93
NO_2	50.48	50.45	48.90	48.83	48.17	47.86	50.52	52.55	48.25	42.47	44.31	40.41	43.38
PM_{10}	48.60	43.67	40.00	39.13	40.00	37.25	36.00	40.75	38.20	33.32	32.00	29.00	32.28
SO_2	1.85	1.70	1.70	1.79	1.86	1.45	1.41	1.20	1.23	1.06	1.03	0.85	1.29
O_3	48.62	43.92	51.73	45.36	52.00	46.55	42.58	44.67	40.83	41.92	41.33	50.60	53.65

Tabella 9.3. Media annua delle concentrazioni degli inquinanti rilevati dalla rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria

Queste variazioni di concentrazione si deducono più facilmente osservando il grafico successivo che raffigura i dati della tabella 9.3 normalizzati all'anno 1999.

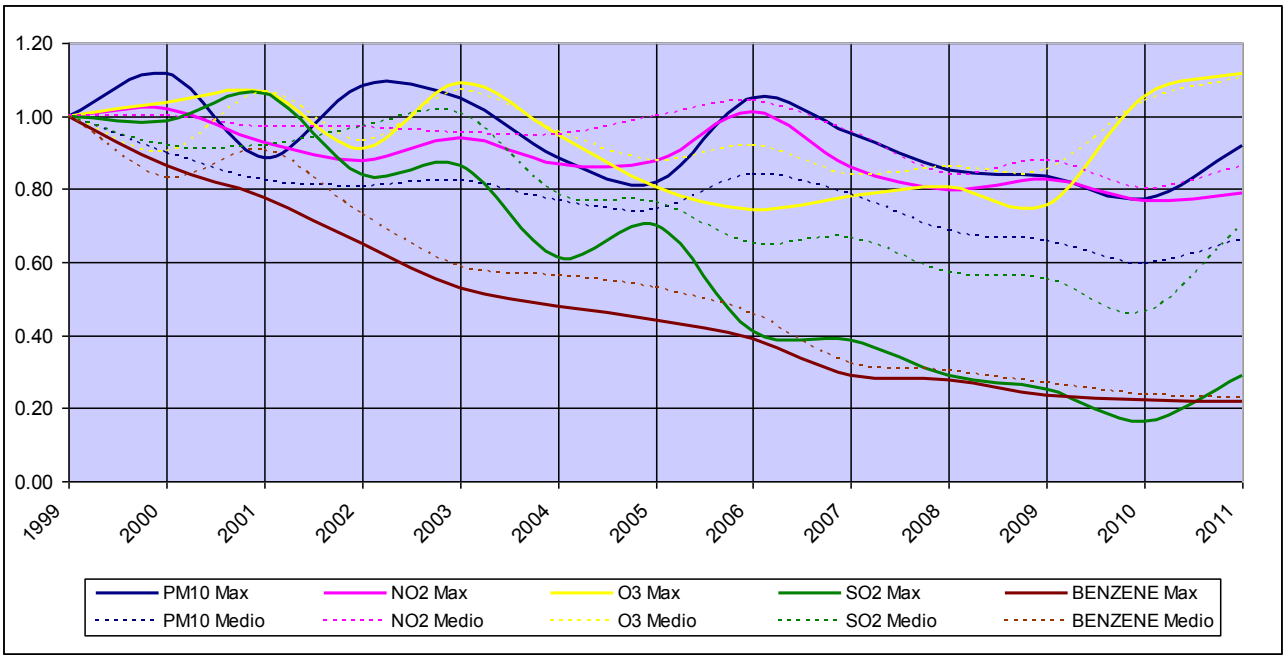


Grafico 9.1. Andamento della concentrazione degli inquinanti normalizzato al 1999 (%)

Infine, relativamente ai valori medi annui del PM_{10} si nota che esiste un significativo indice di correlazione con il numero di superamenti del livello di concentrazione di 50 $\mu g/m^3$ da non superare per più di 35 volte all'anno. Tale correlazione rappresenta quindi un ulteriore indice di lettura dei livelli di qualità dell'aria registrati nella finestra temporale 1999-2008.

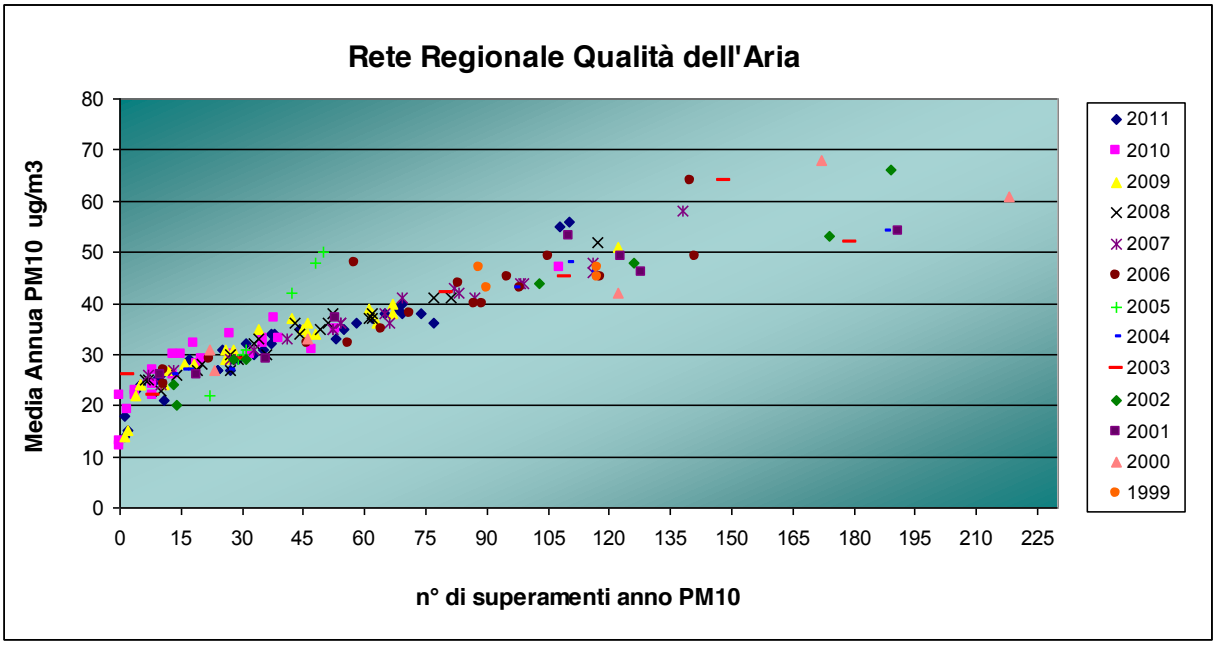


Grafico 9.2. Correlazione tra il numero di superamenti annui di PM_{10} e la relativa concentrazione media annua

A livello statistico si rileva che sul complesso delle stazioni di misura, un livello medio di concentrazione superiore a 35 $\mu g/m^3$ corrisponde ad un numero di superamenti maggiori della soglia prevista.

9.1 Discariche

Il sistema delle nove discariche considerate (i due impianti di discarica di Borgo Montello sono stati considerati come uno solo) è ovviamente articolato sia sotto il profilo della dimensione dell'impianto (Malagrotta smaltisce circa 1.5 milioni di tonnellate/anno di rifiuti e Civitavecchia meno di 50.000) che sotto il profilo della loro collocazione territoriale associata ad un importante gradiente di pressione e di fattori antropici.

Codice	Impianto	Comuni limitrofi
D1	Discarica di Malagrotta	Roma
D2	Discarica di Guidonia	Fonte Nuova
		Guidonia Montecelio
		Sant'Angelo Romano
D3	Discarica di Albano	Albano Laziale
		Aprilia
		Ardea
		Ariccia
		Pomezia
		Roma
D4	Discarica di Colleferro	Artena
		Colleferro
		Genazzano
		Paliano
		Segni
		Valmontone
D5	Discarica di Viterbo	Viterbo
		Montefiascone
D6	Discarica di Borgo Montello	Latina
D7	Discarica di Roccasecca	Arce
		Colfelice
		Pontecorvo
		Roccasecca
		San Giovanni Incarico
D8	Discarica di Bracciano	Bracciano
		Cerveteri
D9	Discarica di Civitavecchia	Civitavecchia

Tabella 9.4. Codici identificativi delle discariche

I Comuni limitrofi alle nove discariche sono 26 con un numero totale di abitanti pari a 3.456.849 dei quali 2.721.558 sono residenti nel comune di Roma.

Codice	Comune	Popolazione residente nel 2008
D1	Roma	2.721.558
D2	Fonte Nuova	26.981
	Guidonia Montecelio	79.994
	Sant'Angelo Romano	4.218
D3	Albano Laziale	38.992
	Aprilia	67.606
	Ardea	40.124
	Ariccia	18.183
	Pomezia	57.363
	Roma	2.721.558
D4	Artena	13.384
	Colleferro	21.964
	Genazzano	5.902
	Paliano	8.179
	Segni	9.362
	Valmontone	14.655
D5	Viterbo	61.754
	Montefiascone	13.506
D6	Latina	116.320
D7	Arce	5.941
	Colfelice	1.839
	Pontecorvo	13.265
	Roccasecca	7.594
	San Giovanni Incarico	3.440
D8	Bracciano	17.817
	Cerveteri	34.847
D9	Civitavecchia	52.061
Totale Comuni		**3.456.849**
Totale Comuni escluso Roma		735.288
Totale provincia di Viterbo		313.087
Totale Provincia di Frosinone		495.866
Totale provincia di Latina		541.215
Totale provincia di Roma		4.085.789
Totale Regione Lazio		**5.593.864**

Tabella 9.5. Popolazione residente nei comuni limitrofi agli impianti di discarica. (fonte: ISTAT "Stima del carico inquinante delle acque reflue urbane anno 2005-2008)

Sul complesso del sistema discariche e, a supporto della valutazione a carattere epidemiologico, sono stati analizzati tre differenti livelli informativi:

- inquadramento territoriale: funzionale a fornire elementi descrittivi correlati alla potenziale "sensibilità" ambientale del contesto territoriale;

- fattori di pressione: diretti e indiretti specifici funzionali alla valutazione quali/quantitativa dei possibili "effetti di dose" sui soggetti residenti e operanti nelle aree in studio;
- Indicatori di qualità ambientale: utili a correlare i diversi fattori di esposizione della popolazione in relazione e per confronto con le diverse scale territoriali definite (Ambito territoriale impianto, Comuni limitrofi, Ambito territoriale area vasta).

Al fine di fornire utili elementi di valutazione ambientale del sistema delle discariche e, tenuto conto della complessità e variabilità dei contesti territoriali in cui sono localizzate le discariche, è stato scelto, laddove possibile, di fornire, per gli indicatori individuati, il range di variazione tra il valore minimo e massimo individuato confrontando i valori degli indicatori calcolati per ogni singolo impianto.

Inquadramento territoriale

Descrizione	Range di variabilità Ambito territoriale impianto	Valore medio Ambito territoriale impianto
Popolazione residente	620-85 000 abitanti	30 000 abitanti
% centri urbani	0-18 (%)	6%
Lunghezza infrastrutture stradali principali (Autostrade, SS, Strade extraurbane)	3-47 km (totale 155 Km)	9 km
Uso del suolo	Seminativi e aree naturali 50-90 % Servizi/industria 4-15%	Seminativi e aree naturali 85% Servizi/industria 9%
Lunghezza corsi d'acqua significativi	0-25 km (125 km totali)	13 km
Interazione con aree di protezione ambientale	Poco significativa	-

Tabella 9.6. Sintesi inquadramento territoriale

La lettura degli elementi di sintesi mette in evidenza che, pur considerando la variabilità delle aree, le zone di indagine sono caratterizzate da una significativa presenza di popolazione residente accompagnata da aree a vocazione mista in cui la presenza di aree rurali e di corsi d'acqua comunque è elemento di rilevanza ambientale non trascurabile (si veda Tavola 1).

Fattori di pressione

I fattori di pressione diretti e indiretti sono letti in questa fase come elemento di caratterizzazione delle aree in relazione ai contesti urbani limitrofi, allo scopo di evidenziare i termini di peso relativo sulle componenti di inquinamento atmosferico utilizzate come fattore principale della catena causa-effetto nelle analisi epidemiologiche.

In particolare la stima delle emissioni di inquinanti, al netto della capacità di diffusione e trasporto dell'atmosfera, rappresenta un indice utile a fotografare e ad identificare gli elementi di potenziale criticità ambientale volti a caratterizzare sia gli impatti connessi alla diffusione dei macro inquinanti (ossidi di azoto, PM_{10},..) che i percorsi associati ai micro inquinanti (metalli, IPA, diossine,…).

A partire dalle emissioni annuali medie relative agli anni 1995-2008 per gli ossidi di azoto (indicativi dei processi di combustione industriale e da traffico) e del particolato fine <10 micron (indicativi sia dei processi di combustione che dei "percorsi" dei microinquinanti, (vedi tavola 2) e le emissioni di acido solfidrico (tracciante delle emissioni diffuse da discariche) è stato valutato il rapporto medio percentuale tra:

- le emissioni stimate per gli Ambiti territoriali degli impianti e quelle dei comuni limitrofi
- le emissioni direttamente associate agli impianti

Descrizione	Emissioni Discariche	Emissioni Ambiti territoriali degli impianti	Emissioni comuni limitrofi (t/anno)
Ossidi di azoto	< 1%	8 %	60 000
Particolato PM_{10}	< 1%	7 %	7600
Acido solfidrico (H_2S)	7 (t/anno)	*	*

Tabella 9.7. Sintesi fattori di pressione – sistema discariche
* emissione non valutata in quanto non correlata a indici di qualità dell'aria

Le emissioni riferite agli Ambiti territoriali degli impianti rappresentano una percentuale di circa 8% del totale mettendo in evidenza in termini quali/quantitativi che, in generale, la contiguità degli impianti con le zone urbanizzate e con le infrastrutture stradali rilevanti è presupposto di una complessità di fattori e di

rapporti causa-effetto nella valutazione e discriminazione dei fattori a supporto delle analisi epidemiologiche.
Il contributo specifico del sistema discariche è, naturalmente, contenuto a questo livello di analisi. Le emissioni di acido solfidrico sono state stimate nell'ottica di fornire, mediante le simulazioni modellistiche, i percorsi di impatto del sistema stesso sulle aree, (Appendice Tavola 4); in questo modo è stato possibile supportare l'analisi epidemiologica con una accurata definizione delle zone interessate dai diversi livelli di concentrazione degli inquinanti (footprint impianti) e di conseguenza è possibile individuare possibili selezioni della popolazione potenzialmente esposta.

Il confronto di questi parametri applicato alle diverse scale territoriali mette in evidenza il diverso grado di interazione del sistema discariche con le aree maggiormente antropizzate e quindi "produttori" di maggiori carichi di inquinanti.
Ad esempio l'impianto di Albano Laziale che pur facendo riferimento anche al comune di Roma come quello di Roma Malagrotta ha un carico effettivo inferiore di circa 3 volte.

Discarica	Rapporto Ambito territoriale impianto/comuni limitrofi Ossidi di azoto [%]	Rapporto Ambito territoriale impianto/comuni limitrofi PM_{10} [%]	Emissioni ossidi di azoto Comuni limitrofi [t/anno]	Emissioni PM_{10} Comuni limitrofi [t/anno]
Roccasecca	5.0	14.0	1203	116
Latina	<1.0	9.6	2684	325
Albano Laziale	<1.0	1.0	52576	4153
Bracciano	1.3	7.0	735	78
Civitavecchia	1.8	3.5	5323	573
Colleferro	9.0	37.0	4168	257
Guidonia M.	10.0	38.0	3937	285
Roma	4.5	3.3	50358	3856
Viterbo	1.2	3.4	1585	222

Tabella 9.8. Sintesi fattori di pressione – dettaglio discariche

Gli indicatori di pressione e quelli territoriali orientano le caratteristiche degli Ambiti territoriali degli impianti mentre gli indici associati alla valutazione della qualità dell'aria (concentrazioni medie di inquinante al suolo) sono gli elementi di quadro che, in funzione delle proprietà diffusive e di trasformazione chimica dei diversi inquinanti in atmosfera, consentono di meglio comprendere i potenziali meccanismi di dose-risposta applicati alla popolazione.

Indicatori di qualità ambientale

Le campagne sperimentali condotte dall'Arpa Lazio e correlate al progetto sono state sostanzialmente dedicate alla rilevazione dei livelli di concentrazione in aria di macroinquinanti (NO_x, PM_{10}…), di metalli in traccia, di idrocarburi policiclici aromatici, aldeidi e le sostanze organiche volatili (vedi tabella). Il monitoraggio stratificato di queste diverse categorie di parametri inquinanti, ha l'obiettivo di confrontare le rilevazioni con i livelli di qualità dell'aria previsti dalla normativa e di fornire elementi di lettura articolati in grado di meglio qualificare le aree in studio.

Monitoraggi	Area Discariche	
Tipo di Stazione/parametri rilevati	Laboratorio mobile	Rete regionale
Macroinquinanti	x	x
Aldeidi	x	
VOC	x	
Metalli	x	x
IPA	x	x
Diossine	x	
PCB	x	
H_2S	x	

Tabella 9.9. Elenco parametri misurati

Le informazioni raccolte sono sostanzialmente derivate dalla gestione pluriennale della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria e dalla analisi di un serie di campagne sperimentali dedicate. I due set di dati (misurati) sono stati successivamente integrati dalla valutazione dei livelli medi di concentrazione di inquinante stimati mediante tecniche modellistiche applicate all'intera regione in modo da coordinare le informazioni puntuali delle stazioni di misura (inquinanti specifici e fenomeni) con l'esigenza di valutare gli impatti su porzioni specifiche di territorio (Appendice la tavola 3).

Per analizzare in termini complessivi e sintetici tutte le attività di monitoraggio e di valutazione modellistica relative agli Ambiti territoriali degli impianti e all'Ambito territoriale di area vasta nel quadro sinottico seguente sono stati raccolti gli elementi principali sintetizzati in opportuni indicatori.

Quadro sinottico	Ambiti territoriali impianti	Comuni limitrofi	Ambito territoriale area vasta
NO_2 range livelli di concentrazione in aria media annua	12-49 [μg/m^3]*	2-73 [μg/m^3]*	7-82 [μg/m^3]
PM_{10} range livelli di concentrazione in aria media annua	20-36 [μg/m^3]*	13-49 [μg/m^3]*	12-52 [μg/m^3]
Metalli (Cd, NI, As e Pb) % rispetto ai limiti vigenti	5%	-	8%
IPA -Benzo(a)pirene rispetto ai limiti vigenti	38%	-	45%
Benzene rispetto ai limiti vigenti	26%	-	39%

Tabella 9.10. Sintesi indicatori di qualità ambientale
* range di livelli di concentrazione media annua stimati mediante valutazione modellistica

Il quadro di riferimento sinottico mostra che le aree di studio hanno valori massimi di NO_2 e PM_{10} inferiori alle zone a forte traffico urbano (comuni limitrofi) e i valori minimi indicativi della loro collocazione in aree miste urbane e industriali con infrastrutture stradali rilevanti;
I livelli di concentrazione dei micro inquinanti sono complessivamente paragonabili a quelli registrati in aree a forte urbanizzazione e comunque inferiori ai limiti previsti dalla normativa.
Per quanto riguarda il benzene si conferma come le aree a maggiore traffico urbano sono responsabili dei livelli più alti di concentrazione.

L'analisi del particolato fine e dei metalli mette anche in evidenza come negli Ambiti territoriali degli impianti e più in generale sull'intero territorio un ruolo importante nel determinare i tassi di inquinamento è dovuto alla forzante metereologica/diffusiva che in determinate situazioni porta a omogeneizzare i livelli di concentrazione su vaste porzioni di territorio.
Osservando la distribuzione dei livelli di concentrazione PM_{10}-NO_2 rilevata (nelle campagne sperimentali) in prossimità delle aree di discarica e nelle centraline della rete regionale (vedi figura) si conferma che sostanzialmente in tutte le stazioni di misura la componente principale a determinare il tasso di inquinamento in aria, è dovuta al mix di sorgenti diffuse (traffico, industria, civile) tipico di aree a forte antropizzazione.

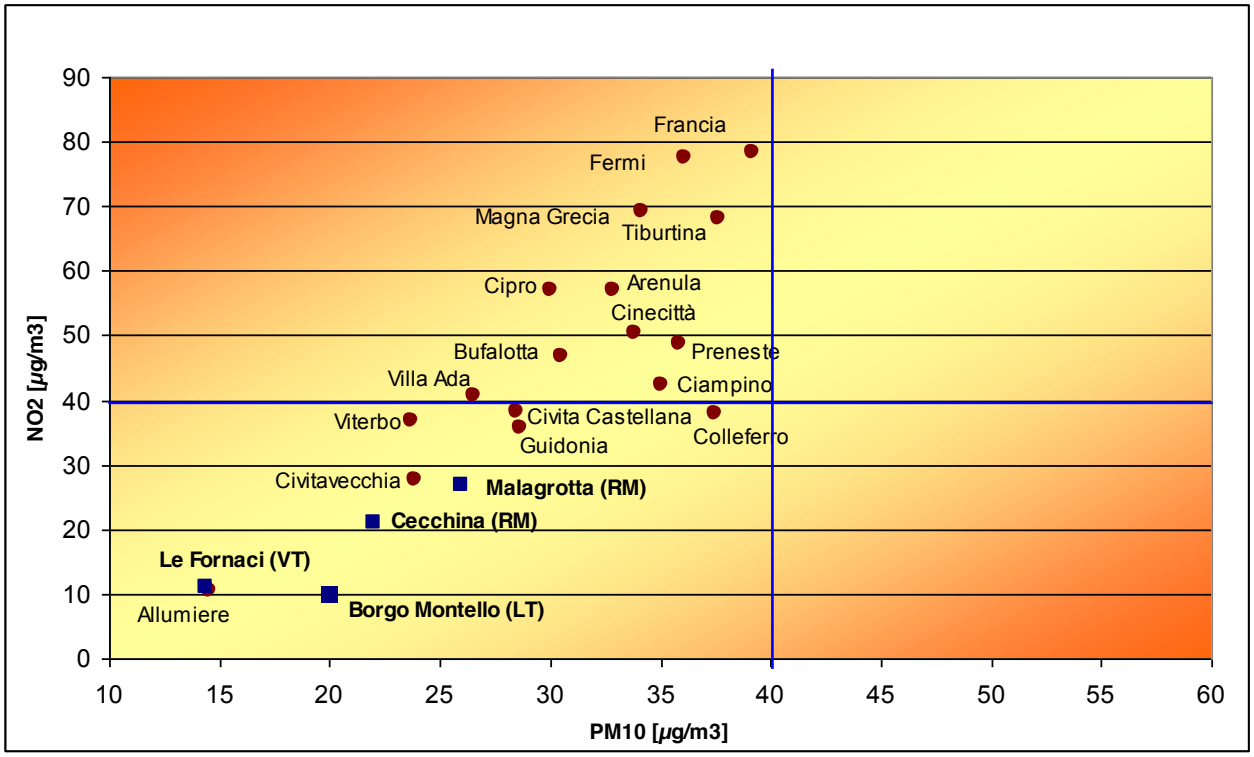


Grafico 9.3. Confronto tra le medie annuali di NO_2 e PM_{10} delle centraline regionali (2008-2011) con le medie delle campagne effettuate dall'ARPA Lazio nell'ambito del programma ERAS

Le posizioni relative nel grafico delle tre aree sottoposte a monitoraggio nell'ambito della campagne del programma ERAS evidenziano un naturale trend a partire dall'area di Viterbo effettivamente isolata a quella di Malagrotta dove insistono diverse fonti di emissione significative.

La valutazione del livello di qualità dell'aria in rapporto alla stima delle emissioni degli inquinanti in atmosfera, deve essere opportunamente letta anche alla luce delle variazioni dei livelli di concentrazione medi in aria nell'arco del periodo temporale di riferimento. In particolare, nelle aree indagate (in assenza di stazione fissa di monitoraggio) è probabilmente ragionevole aspettarsi che una stazione virtuale avrebbe avuto un'evoluzione temporale paragonabile a quella calcolata per il complesso della rete regionale anni 1999-2011.

Il confronto e l'analisi dei risultati sperimentali e delle valutazioni modellistiche ha permesso di costruire un quadro di riferimento ambientale a supporto delle valutazioni di tipo epidemiologico in particolare per ciò che concerne l'inquadramento complessivo delle aree ed i livelli di inquinamento atmosferico associati.

Ad integrazione di questa analisi, partendo dall'ipotesi che ogni impianto di smaltimento o di trasformazione dei rifiuti in attività determini una propria impronta

(footprint) sulla qualità dell'aria caratteristica del territorio in cui tale impianto è presente, è stata definita quella porzione di territorio, circostante ad ogni impianto, in cui le emissioni da esso prodotte, durante la normale attività, determinano una distribuzione di concentrazione con caratteristiche ben definite.
La costruzione del "footprint" degli impianti ha permesso di modulare e specializzare l'analisi a supporto di quella epidemiologica. Sul complesso delle discariche è stato usato come parametro per definire il "footprint" il livello di concentrazione medio di idrogeno solforato (H_2S) valutato mediante tecniche modellistiche. In questo modo sono state individuate zone a diversa esposizione caratteristiche del potenziale impatto delle discariche (Appendice Tavola 4).

Nella tabella si osserva che i valori massimi stimati sono all'interno *dell'ambito territoriale* in vicinanza degli impianti e che la percentuale di area che presenta livelli di concentrazione superiore all'1% del relativo valore massimo è condizionata dalle condizioni meteo climatiche che determinano la capacità dell'atmosfera di diluire/accumulare l'inquinante al suolo.
In particolare, si osserva che l'area individuata dal "footprint" copre dal 45% al 98% degli *ambiti territoriali* (raggio 3 km) attorno agli impianti e quindi costituisce un efficace indicatore nel discriminare il potenziale "impatto epidemiologico" degli impianti.

Discarica	**% Ambito territoriale impianto a concentrazione > 1% del valore massimo**	**Concentrazione massima H_2S**
Roccasecca	44.1	0.3
Latina	94.1	1.2
Albano	78.1	0.2
Bracciano	51.5	0.3
Civitavecchia	59.1	0.1
Colleferro	62.7	0.8
Guidonia M.	67.9	0.4
Roma	98.5	3.0
Viterbo	46.8	1.2

Tabella 9.11. Percentuale di area con livelli di "footprint" superiori all'1% del valore massimo

D'altra parte, l'area non direttamente interessata da livelli di concentrazione superiori all'1% del valore massimo, costituisce comunque un riferimento utile a distinguere eventuali livelli di potenziale esposizione differenziale della popolazione residente.

9.2 Area Complessa di Malagrotta

Il territorio di Malagrotta è caratterizzato da un'elevata concentrazione di impianti industriali, quali la raffineria di Roma, il gassificatore, l'impianto di incenerimento dei rifiuti ospedalieri dell'AMA, il "complesso impiantistico di Malagrotta" che 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 e cave per l'estrazione di materiali da costruzione.

Comune	Popolazione residente nel 2008
Roma	2.721.558
Totale provincia di Roma	4.085.789
Totale Regione Lazio	5.593.864

Tabella 9.12. Popolazione residente nel comune di Roma. (fonte: ISTAT "Stima del carico inquinante delle acque reflue urbane anno 2005-2008)

Analogamente a quanto effettuato per il sistema discariche dei rifiuti urbani e, a supporto della valutazione a carattere epidemiologico, sono stati analizzati tre differenti livelli informativi:

- inquadramento territoriale: funzionale a fornire elementi descrittivi correlati alla potenziale "sensibilità" ambientale del contesto territoriale;
- fattori di pressione: diretti e indiretti specifici funzionali alla valutazione quali/quantitativa dei possibili "effetti di dose" sui soggetti residenti e operanti nell' area in studio;
- indicatori di qualità ambientale: utili a correlare i diversi fattori di esposizione della popolazione in relazione e per confronto con le diverse scale territoriali definite (Ambito territoriale impianto, Comuni limitrofi, Ambito territoriale area vasta).

L'applicazione di questi tre livelli informativi all'area di Malagrotta deve essere valutata con particolare attenzione in quanto si confronta un'area territoriale specifica ad alta complessità impiantistica concentrata in pochi kmq con l'intero comune di Roma di dimensioni e di pressione antropica decisamente più rilevante.

Inquadramento territoriale

La zona di Malagrotta, vedi tabella, si caratterizza

Descrizione	Valore medio Ambito territoriale impianto
Popolazione residente	85.558 abitanti (nel raggio di 7 km)
% centri urbani	14%
Lunghezza infrastrutture stradali principali (Autostrade, SS, Strade extraurbane)	14 km (150 km nel raggio di 7 km)
Uso del suolo	Seminativi e aree naturali 56% Servizi/industria 34%
Lunghezza corsi d'acqua significativi	13 Km
Interazione con aree di protezione ambientale	poco significativa

Tabella 9.13. Sintesi inquadramento territoriale

come area in cui contemporaneamente sono presenti indici rilevanti di tessuto residenziale di servizi e di industria (14% e 34%) e una cospicua presenza di infrastrutture viarie ad alta intensità di traffico (150 km lineari) (Tavola 1).

Fattori di pressione

L'elevata concentrazione di fattori di pressione ambientale e quindi di sorgenti di emissione di inquinanti è messa in evidenza dalla tabella successiva in cui sono stati considerati i principali impianti presenti nell'area e non solo quelli di trattamento rifiuti urbani. La tabella riporta la percentuale di emissione relativa al complesso impiantistico e all'areale di 3 km di raggio oggetto dello studio in rapporto alle emissioni stimate sul territorio comunale di Roma.

Descrizione	Emissioni Impianti (trattamento rifiuti e altro)	Emissioni Ambiti territoriali degli impianti	Emissioni comuni limitrofi [t/anno]
Ossidi di azoto	1.2%	2.5%	50358
Particolato PM_{10}	1.5%	3.3%	3 800
Acido solfidrico (H_2S)	6 (t/anno)	*	*
Mercurio	3%	*	0.056
Arsenico	<1%	*	0.200
Benzene	<1%	*	1 120
Cadmio	1%	*	0.060
Cromo	7%	*	0.291
Diossido di zolfo (SO_2+SO_3)	27%	28%	7 239
Diossine	<1%	*	0.000002
Particolato (< 2.5 micron)		*	3 443
Piombo	<1%	*	0.54
Zinco	2%	*	2.4
Nichel	12%	*	0.7

Tabella 9.13. Sintesi fattori di pressione

Il rapporto tra le emissioni complessive di ossidi di azoto dell'area in esame e quelle sul territorio di Roma è pari al 2.5% mentre il peso del complesso impiantistico é circa il 1.3%. Analoghe considerazioni sono riscontrabili anche analizzando le emissioni di particolato fine (Appendice, Tavola2), di benzene e di metalli in traccia, generalmente associati ai processi di combustione industriale, da traffico e da caldaie civili.

Le emissioni di diossido di zolfo degli impianti, nell'area di Malagrotta, contribuiscono per circa il 30% rispetto al valore complessivo stimato per il comune di Roma (anno 2008); tale contributo percentuale, riferito al 2008, deve essere letto in relazione al vasto programma di azione a livello nazionale ed internazionale di abbattimento dell'emissioni di SO_2 che nei primi anni 2000 aveva già ottenuto risultati importanti relativamente al contenimento delle emissioni di impianti di produzione di energia, cementifici, traffico veicolare etc.
Infatti, se si osserva il periodo 1996-2008, oggetto dello studio, il carico emissivo dell'intera provincia di Roma è pari a più di 50.000 t/anno, a causa dell'intenso utilizzo, negli impianti industriali, in quegli anni, di combustibili ad alto tenore di zolfo. Sotto questo punto di vista il peso percentuale dell'area impiantistica di Malagrotta risulterebbe sarebbe complessivamente inferiore nel decennio di riferimento.

L'analisi dei rilievi sperimentali relativi all'inquinamento atmosferico costituisce un ulteriore tassello di collegamento nell'esame del rapporto causa-effetto rilevanti nell'indagine epidemiologica. Gli indici di qualità dell'aria e la distribuzione dei livelli di

concentrazione di micro inquinanti costituiscono un elemento importante di supporto alla valutazione degli indici di esposizione della popolazione residente.

Indicatori di qualità ambientale

Al fine di rendere più efficace e completa l'analisi dei profili di inquinamento atmosferico nell'area in esame, sono state condotte campagne di monitoraggio dedicate sia al "complesso di Malagrotta" che ad un insieme di zone a destinazione urbanistica diversa. In tal modo, dall'analisi contemporanea dei diversi inquinanti e della tipologia di zone indagate, è possibile formulare un quadro più completo ed efficace di comparazione dei meccanismi di formazione dell'inquinamento atmosferico e dei livelli complessivi di qualità ambientale.
Naturalmente in un area così articolata, è importante e necessario mantenere un costante monitoraggio ambientale in modo da confermare e rendere significativi gli indici di caratterizzazione emersi dalle attività sperimentali fino ad oggi condotte. Tale monitoraggio può essere strutturato mediante una serie di rilievi in continuo (per valutare i trend) e campagne sperimentali di più breve periodo mirate a specifici parametri inquinanti.
Nell'ambito del Programma ERAS sono stati analizzati i risultati delle campagne sperimentali condotte nel periodo 2008-2011 presso l'area di Malagrotta secondo lo schema riportato in tabella.

Monitoraggi	Area di Malagrotta	
Tipo di Stazione/parametri rilevati	Laboratorio mobile	Rete regionale
Macroinquinanti	x	x
Aldeidi	x	
VOC	x	
Metalli	x	x
IPA	x	x
Diossine	x	
PCB	x	
H_2S	x	

Tabella 9.14. Quadro analisi condotte nelle campagne di monitoraggio

Per analizzare in termini complessivi tutte le attività di monitoraggio e di valutazione modellistica relative agli Ambiti territoriali degli impianti e all'Ambito territoriale di

area vasta nel quadro sinottico seguente sono stati raccolti gli elementi principali sintetizzati in opportuni indicatori.

Quadro sinottico	Ambito territoriale impianti	Comuni limitrofi (Roma)	Ambito territoriale area vasta
NO_2 range livelli di concentrazione in aria media annua	35-43 [μg/m^3]*	2.5-74 [μg/m^3]*	7-82 [μg/m^3]
PM_{10} range livelli di concentrazione in aria media annua	23-27 [μg/m^3]*	16-49 [μg/m^3]*	12-52 [μg/m^3]
Metalli (Cd, NI, As e Pb) % rispetto ai limiti vigenti	6%	-	8%
IPA -Benzo(a)pirene rispetto ai limiti vigenti	28%	-	45%
Benzene rispetto ai limiti vigenti	40%	-	39%
Biossido di zolfo (SO_2) rispetto ai limiti vigenti	12%	-	6%

Tabella 9.15. Sintesi indicatori di qualità ambientale
* range di livelli di concentrazione media annua stimati mediante valutazione modellistica

Il quadro di riferimento sinottico mostra che l'area di Malagrotta presenta valori massimi di NO_2 e PM_{10} inferiori a quelli di zone a forte traffico urbano (Roma) e valori minimi indicativi della loro collocazione in una zona mista urbana e industriale con infrastrutture stradali rilevanti.

I livelli di concentrazione in aria di metalli e benzene rilevati nell'area di Malagrotta sono confrontabili con i valori medi relativi all'intero comune di Roma e comunque inferiori ai limiti previsti dalla normativa; ciò conferma che il trasporto e la diffusione di sostanze inquinanti in ambiti urbani tende a formare miscele piuttosto omogenee di inquinanti.

In generale su un territorio come quello romano si osservano dei livelli di fondo e dei livelli medi di concentrazione di inquinamento diffuso omogeneamente su larghe porzioni di territorio, mentre i valori massimi sono riscontrabili lungo le arterie a massima congestione. Inoltre, il contributo delle sorgenti industriali, con emissioni in quota, ha caratteristiche di diluizione più efficaci da quelle determinate da sorgenti al suolo (traffico veicolare). Per cui, le sorgenti industriali, a parità di emissione di inquinanti, hanno un impatto sulla qualità dell'aria su areali di più grandi dimensioni rispetto agli effetti prodotti dalle sorgenti al suolo maggiormente rilevanti in vicinanza al punto di emissione e relativamente trascurabile a grande distanza.

A tale proposito, infatti, i livelli di concentrazione di SO_2 medi registrati nell'area sono inferiori ai riferimenti normativi e del tutto paragonabili a quelli osservati sull'intero territorio di area vasta (rispettivamente circa 4 e 2 μg/m^3 valore medio annuo).

Osservando la distribuzione dei livelli di concentrazione PM_{10}-NO_2 rilevata nell'area di Malagrotta e nelle centraline della rete regionale (vedi figura successiva) si conferma che sostanzialmente in tutte le stazioni di misura la componente principale a determinare il tasso di inquinamento in atmosfera, è correlata al mix di sorgenti (traffico, industria, civile) tipico di aree a forte antropizzazione. I valori medi di PM_{10} e di NO_2 registrati nella stazione di Malagrotta sono pari a circa 30 µg/m^3 rispetto ai limiti di 40 µg/m^3 di riferimento.

Confronto Campagne Malagrotta – Centraline Rete Regionale

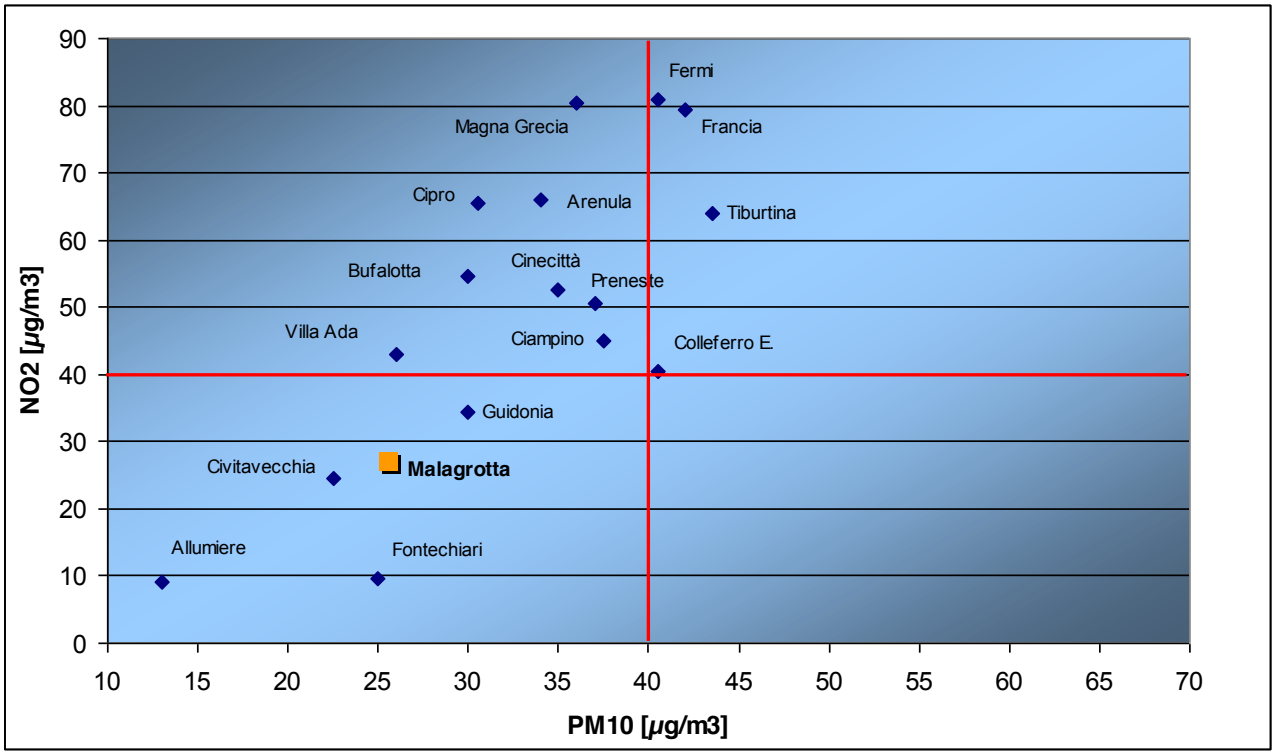


Grafico 9.4. Valori medi registrati durante le due campagne eseguite (2008-2009) a Malagrotta dall'ARPA Lazio nell'ambito del programma ERAS

Considerando la complessità delle sorgenti puntuali presenti, si è ritenuto importante approfondire l'analisi dei livelli di concentrazione degli inquinanti allo scopo di fornire un più completa caratterizzazione ambientale dell'area. Un primo elemento di riflessione è che, se la stazione attualmente presente a Malagrotta registra valori pari a circa 30 µg/m^3 per PM_{10}-NO_2 è probabilmente corretto ritenere che nella finestra temporale 1996-2008 una equivalente stazione virtuale avrebbe registrato valori di concentrazione superiori a quelli attuali (in un range compreso tra 8-30 %) in coerenza con quanto è stato osservato sul complesso della rete regionale (vedi par. precedente).

Un secondo elemento di valutazione emerge dall'analisi del rapporto tra i livelli di concentrazione dei microinquinanti e quelli di particolato fine calcolato nelle stazioni di misura collocate in aree con presenza contemporanea di significative emissioni da sorgenti puntuali (industriali) e diffuse (traffico, riscaldamento, ..) e quelle dove è presumibile che l'impatto sia prevalentemente dovuto alle sorgenti diffuse.
Tale indice è stato calcolato considerando i livelli di concentrazione medi dei metalli in traccia e del benzo(a)pirene normalizzati in rapporto alla corrispettiva concentrazione di PM_{10}. In questo modo è stato individuato un indice che misura l'intensità di microinquinanti presenti in aria ambiente a pari livello di PM_{10}.

Tipologia della Stazione	**Range variazione Indice**
Fondo urbano	0.9 - 2.6
Urbana	0.7 - 2.5
Traffico	0.5 - 2.4
Malagrotta	0.7 - 3.0
Colleferro	0.6 - 2.9
Civitavecchia	0.6 - 3.5
San Vittore del Lazio	0.6 - 3.7

Tabella 9.16. Indice per la valutazione della presenza di microinquinanti in aria in rapporto alla concentrazione di PM_{10}

Dall'esame della tabella si nota che nelle stazioni di misura posizionate nelle aree con forte presenza industriale, il valore massimo dell'indice in esame è sempre maggiore rispetto a quello relativo alle stazioni presenti in contesti urbani (fondo urbano, urbana e traffico) e che il range di variazione complessivo è di paragonabile entità. Questo ad indicare che l'intensità specifica di micro inquinanti è probabilmente maggiore nelle aree industriali mentre la variabilità dell'indice è da associare principalmente alla circolazione delle masse d'aria di trasporto dell'inquinante che condizionano e rendono relativamente omogenee vaste aree di territorio.

La lettura comparata dei tre livelli informativi esposti evidenzia che l'area di Malagrotta è caratterizzata da elementi di sensibilità ambientale che possono utilmente supportare ed integrarsi con la valutazione di tipo epidemiologica. In

particolare, è senz'altro importante sottolineare come il mantenimento di un monitoraggio continuo e mirato della qualità dell'aria può sicuramente rendere più efficace e solide ulteriori programmi di valutazioni ambientale-epidemiologica.

Secondo la metodologia consolidata nello studio, l'ulteriore elemento informativo che integra l'analisi precedentemente presentata è la valutazione modellistica del footprint degli impianti presenti nell'area (Tavola 4).

I footprint utilizzati per i diversi impianti sono:

- livelli al suolo di idrogeno solforato (H_2S) per il complesso della discarica
- livelli al suolo di ossidi di azoto (NO_x) per il restante numero di impianti (Raffineria, Inceneritore di rifiuti ospedalieri,..)
- livelli al suolo di PM_{10} per il complesso delle sorgenti diffuse (traffico, riscaldamento civile, etc.)

L'osservazione complessiva dei footprint mette in evidenza come vi sia un'elevata sovrapponibilità dell'impronta dei diversi impianti e quella relativa alle sorgenti diffuse determinata sia dalle caratteristiche emissive che dalla forzante metereologica di trasporto e diffusione delle sostanze inquinanti in atmosfera.

9.3 Termovalorizzatori

Nella regione Lazio sono attivi quattro impianti di termovalorizzazione dei rifiuti, collocati uno nel comune di San Vittore del Lazio, attivo dal 01/08/2002, due nel comune di Colleferro attivi da dicembre 2002 e l'ultimo nel comune di Roma (gassificatore) avviato nella seconda metà del 2008. Il gassificatore di fatto non è stato considerato nello studio complessivo in quanto la sua attività è posteriore alla finestra di riferimento temporale 1996-2008 dell'analisi epidemiologica. Nelle tabelle successive sono elencati gli impianti ed i rispettivi comuni e il numero di popolazione residente in osservazione.

Codice	Impianto	Comuni
T1	Termovalorizzatore di San Vittore del Lazio	Cassino
		Cervaro
		San Vittore del Lazio
T2	2 Termovalorizzatori di Colleferro	Colleferro
		Artena
		Genazzano
		Paliano
		Segni
		Valmontone

Tabella 9.17. Codici identificativi degli impianti di termovalorizzazione dei rifiuti urbani

I Comuni limitrofi ai tre termovalorizzatori sono nove con un numero totale di abitanti pari a 116.320.

Codice	Comune	Popolazione residente nel 2008
T2	Colleferro	21.964
	Artena	13.384
	Genazzano	5.902
	Paliano	8.179
	Segni	9.362
	Valmontone	14.655
T1	Cassino	32.962
	Cervaro	7.187
	San Vittore del Lazio	2.725
Totale Comuni		116.320
Totale Regione Lazio		5.593.864

Tabella 9.18. Popolazione residente nei comuni limitrofi agli impianti di termovalorizzazione dei rifiuti urbani. (fonte: ISTAT "Stima del carico inquinante delle acque reflue urbane anno 2005-2008)

Analogamente a quanto effettuato per il sistema discariche dei rifiuti urbani e, a supporto della valutazione a carattere epidemiologico, sono stati analizzati tre differenti livelli informativi:

- inquadramento territoriale: funzionale a fornire elementi descrittivi correlati alla potenziale "sensibilità" ambientale del contesto territoriale;
- fattori di pressione: diretti e indiretti specifici funzionali alla valutazione quali/quantitativa dei possibili "effetti di dose" sui soggetti residenti e operanti nell' area in studio;
- indicatori di qualità ambientale: utili a correlare i diversi fattori di esposizione della popolazione in relazione e per confronto con le diverse scale territoriali definite (Ambito territoriale impianto, Comuni limitrofi, Ambito territoriale area vasta).

Inquadramento Territoriale

Gli indici di valutazione sintetica di seguito presentati sono riferiti all'ambito territoriale considerato nello studio pari a un cerchio di 3 Km di raggio attorno ai termovalorizzatori.

Descrizione	Range di variabilità Ambito territoriale impianto	Valore medio Ambito territoriale impianto
Popolazione residente	2 850 - 44 342 abitanti	23 600 abitanti
% centri urbani	4-13 (%)	9%
Lunghezza infrastrutture stradali principali (Autostrade, SS, Strade extraurbane)	35-59 Km (155 Km con areale da 7 km di raggio)	47 km
Uso del suolo	Seminativi e aree naturali 63-80 %	Seminativi e aree naturali 71.5%
	Servizi/industria 4-10%	Servizi/industria 7%
Lunghezza corsi d'acqua significativi	0-18 Km	9 Km
Interazione con aree di protezione ambientale	Nulla	-

Tabella 9.19. Sintesi inquadramento territoriale

I due areali di insediamento dei termovalorizzatori sono evidentemente molto diversi tra loro dal punto di vista dell'inquadramento territoriale. Infatti il numero di residenti interessati nell'ambito territoriale del Termovalorizzatore di San Vittore è il 7% rispetto a quelli di Colleferro; analogamente la percentuale di centri urbani va dal 4 al 13 % rispettivamente per San Vittore e Colleferro. Il potenziale impatto delle arterie

da traffico principali pur essendo molto diverso tra i due impianti risulta comunque molto significativo per San Vittore (Appendice, Tavola 1).

Fattori di pressione

Gli indici relativi ai fattori di pressione sono sostanzialmente derivati dalla stima delle emissioni prodotte da tutte le tipologie di sorgenti confrontate sui tre livelli territoriali/impiantistici.

Descrizione	Emissioni Impianti	Emissioni Ambiti territoriali degli impianti	Emissioni comuni limitrofi [t/anno]
Ossidi di azoto	2%	11%	5635
Particolato PM_{10}	1%	40%	374
Mercurio	<1%	-	0.065
Arsenico	-	-	0.02
Benzene	-	-	0.019
Cadmio	<1%	-	0.033
Cromo	<1%		0.073
Diossido di zolfo (SO_2+SO_3)	<1%	-	688
Particolato (< 2.5 micron)	1%	-	325
Piombo	-	-	3.8
Zinco	-	-	0.8
Nichel	-	-	0.21

Tabella 9.20. Sintesi fattori di pressione – sistema termovalorizzatori

Nella zona di Colleferro, in particolare, sono presenti diversi impianti industriali che concorrono al complesso delle emissioni nell'area. Di conseguenza, il rapporto tra emissioni complessive dei comuni limitrofi e quelle degli ambiti territoriali degli impianti è fortemente determinata dall'areale di Colleferro, mentre in quella di San Vittore oltre all'emissione dell'impianto sono significative le emissioni dovute al trasporto su gomma.

La differenza tra i due areali è sinteticamente riportata, per gli ossidi di azoto e per il PM_{10}, nella tabella successiva.

Termovalorizzatore	Emissioni ossidi di azoto Comuni limitrofi [t/anno]	Emissioni PM_{10} Comuni limitrofi [t/anno]
San Vittore del Lazio	1200	121
Colleferro	4167	220

Tabella 9.21. Sintesi fattori di pressione – dettaglio termovalorizzatori

Infine è importante precisare che se in termini di emissione percentuale le sorgenti puntuali considerate sono rilevanti questo non direttamente si traduce in analoghi livelli di concentrazione in aria a livello del suolo poiché le emissioni puntuali sono in generale convogliate da camini e quindi hanno caratteristiche di dispersione molto differenti dalle sorgenti diffuse a livello del suolo (traffico,…).

Indicatori di qualità ambientale

Al fine di rendere più efficace e completa l'analisi dei profili di inquinamento atmosferico nell'area in esame, sono state condotte campagne di monitoraggio dedicate sia all'Ambito territoriale degli impianti che su un insieme di zone a destinazione urbanistica diversa. In tal modo, dall'analisi contemporanea dei diversi inquinanti e della tipologia di zone indagate, è possibile formulare un quadro più completo ed efficace di comparazione e dei meccanismi di formazione dell'inquinamento atmosferico. Naturalmente in un area così articolata, è importante e necessario mantenere un costante monitoraggio ambientale in modo da confermare e rendere significativi gli indici di caratterizzazione emersi dalle attività sperimentali fino ad oggi condotte.

Nell'ambito del Programma ERAS sono stati analizzati i risultati delle campagne sperimentali condotte nel periodo 2004-2011 presso l'area di San Vittore del Lazio e Colleferro secondo lo schema riportato in tabella.

Monitoraggi	Area Impianti	
Tipo di Stazione/parametri rilevati	Laboratorio mobile	Rete regionale
Macroinquinanti	x	x
Aldeidi	x	
VOC	x	
Metalli	x	x
IPA	x	x
Diossine	x	
PCB	x	

Tabella 9.22. Quadro analisi condotte nelle campagne di monitoraggio

Per analizzare in termini complessivi tutte le attività di monitoraggio e di valutazione modellistica relative agli Ambiti territoriali degli impianti e all'Ambito territoriale di area vasta nel quadro sinottico seguente sono stati raccolti gli elementi principali sintetizzati in opportuni indicatori.

Quadro sinottico	Ambiti territoriali impianti	Comuni limitrofi	Ambito territoriale area vasta
NO_2 range livelli di concentrazione in aria media annua	10-49 [μg/m^3]*	3-49 [μg/m^3]*	7-82 [μg/m^3]
PM_{10} range livelli di concentrazione in aria media annua	21-36 [μg/m^3]*	15-36 [μg/m^3]*	12-52 [μg/m^3]
Metalli (Cd, NI, As e Pb) % rispetto ai limiti vigenti	6%	-	8%
IPA -Benzo(a)pirene rispetto ai limiti vigenti	53%	-	45%
Biossido di zolfo (SO_2) rispetto ai limiti vigenti	11%	-	6%

Tabella 9.23. Sintesi indicatori di qualità ambientale

Analogamente a quanto osservato per le aree a significativa vocazione industriale, i livelli minimi di concentrazione minima di PM_{10} e NO_2 stimati dal modello all'interno dell'ambito territoriale impianti, sono maggiori di quelli calcolati nelle aree dei comuni limitrofi. Inoltre i livelli massimi di concentrazione stimati, all'interno dell'ambito territoriale impianti coincidono con quelli valutati nei comuni limitrofi. Ciò indica, per la zona di Colleferro, come l'area di studio e il territorio comunale urbanizzato siano strettamente connessi dal punto di vista dei fenomeni di formazione dell'inquinamento

atmosferico. Inoltre l'asse tracciato dalla valle del Sacco sia caratterizzato da una significativa percentuale di situazioni meteorologiche sfavorevoli alla diluizione dell'inquinamento atmosferico e quindi alla relativa omogeneizzazione dei livelli di qualità dell'aria su porzioni vaste di territorio.
L'area di San Vittore del Lazio risulta a questo livello di analisi in condizioni migliori sia per il complesso delle emissioni presenti in zona che per la presenza di condizioni meteorologiche medie più favorevoli.

I rilievi sperimentali condotti per la caratterizzazione di metalli in traccia e di IPA ha messo in evidenza, che, limitatamente ai periodi di misura, il livello di concentrazione medio è inferiore ai limiti previsti dalla normativa.

Analizzando gli indici standard della qualità dell'aria per il PM_{10} e NO_2, vedi figura, si osserva che la stazione fissa di Colleferro rileva dei livelli di concentrazione prossimi alle soglie previste dalla normativa mentre i rilievi sperimentali condotti a San Vittore evidenziano una condizione non particolarmente critica per questi due inquinanti che come è noto rappresentano, a livello nazionale ed internazionale il problema principale su cui orientare le politiche di riduzione dell'inquinamento atmosferico.

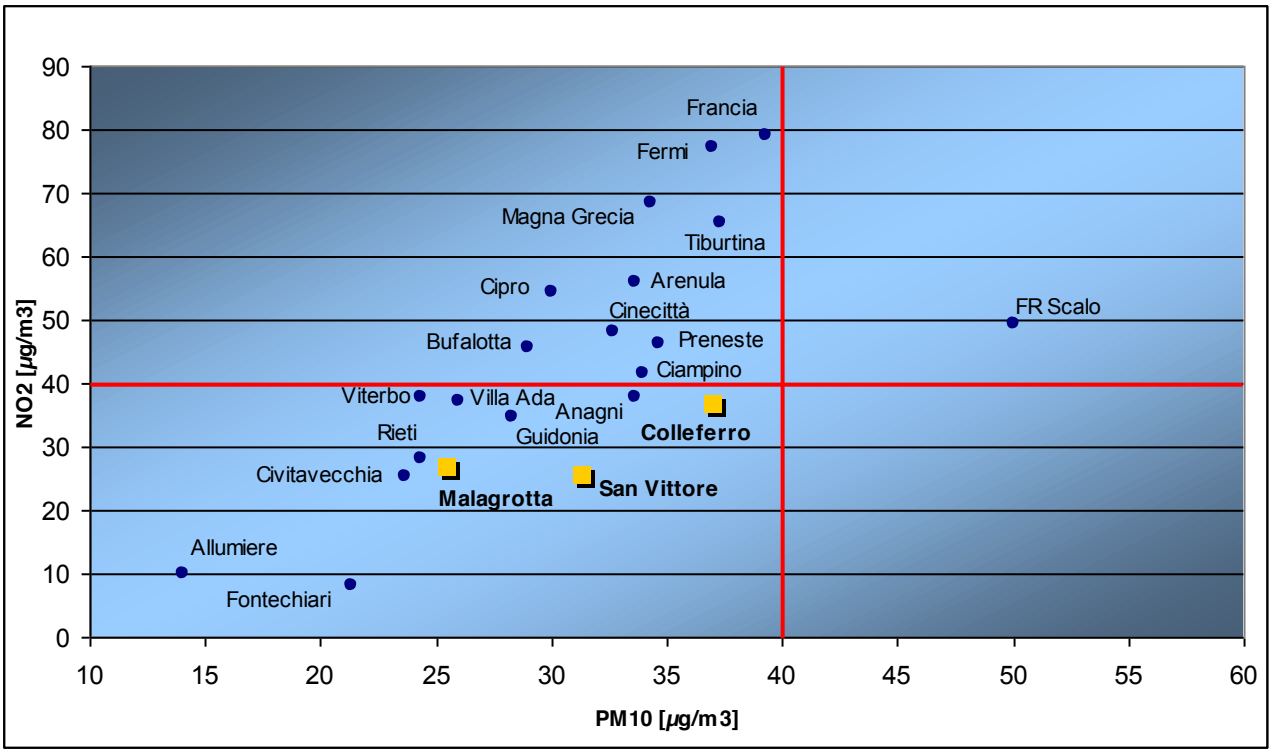


Grafico 9.5. Confronto tra le medie annuali di NO_2-PM_{10} delle centraline regionali (2008-2010) e le medie finali delle campagne.

Secondo lo schema già applicato nell'area complessa di Malagrotta, anche queste aree industriali sono caratterizzate da un valore più elevato dell'indice di intensità dei microinquinanti in rapporto al PM_{10} rispetto a quello relativo alle stazioni di tipo urbano e da traffico.

Tale indice è stato calcolato considerando i livelli di concentrazione medi dei metalli in traccia e del benzo(a)pirene normalizzati in rapporto alla corrispettiva concentrazione di PM_{10}. In questo modo è stato individuato un indice che misura l'intensità di microinquinanti presenti in aria ambiente a pari livello di concentrazione in aria di PM_{10}.

Tipologia della Stazione	Range variazione Indice
Fondo urbano	0.9 - 2.6
Urbana	0.7 - 2.5
Traffico	0.5 - 2.4
Malagrotta	0.7 - 3.0
Colleferro	0.6 - 2.9
Civitavecchia	0.6 - 3.5
San Vittore del Lazio	0.6 - 3.7

Tabella 9.24 Indice per la valutazione della presenza di microinquinanti in aria in rapporto alla concentrazione di PM_{10}

Dall'esame della tabella si nota che nelle stazioni di misura posizionate nelle aree con forte presenza industriale, il valore massimo dell'indice in esame è maggiore rispetto a quello relativo alle stazioni presenti in contesti urbani (fondo urbano, urbana e traffico) e che il range di variazione complessivo è di paragonabile entità. Questo ad indicare che l'intensità specifica di micro inquinanti sia maggiore nelle aree industriali mentre la variabilità dell'indice è da attribuire principalmente alla circolazione delle masse d'aria di trasporto dell'inquinante che condizionano e rendono relativamente omogenee vaste aree di territorio.

Secondo la metodologia consolidata nello studio, l'ulteriore elemento informativo che integra l'analisi precedentemente presentata è la valutazione modellistica del footprint degli impianti presenti nell'area (Appendice Tavola 4).
I footprint utilizzati per i diversi impianti sono:

- livelli al suolo di ossidi di azoto NO_x (ovvero PM_{10}) per gli impianti
- livelli al suolo di PM_{10} per il complesso delle sorgenti diffuse (traffico, riscaldamento civile, etc.)

I footprint stimati per via modellistica sull'area di Colleferro, vedi capitolo 8, evidenziano il ruolo determinante della circolazione meteorologica delle masse d'aria nella complessa distribuzione dell'inquinante a livello del suolo.
L'integrazione, quindi, dell'approccio di analisi ambientale proposto con quella di carattere strettamente epidemiologico può fornire gli elementi di discriminazione e di lettura di realtà territoriali a tutti gli effetti di notevole complessità.

9.4 Trattamento Meccanico Biologico

Gli impianti di Trattamento Meccanico Biologico presenti nella regione Lazio sono sette, di seguito si elencano gli impianti con i rispettivi comuni e numero di popolazione in esame.

Codice	Impianto	Comuni
TMB1	TMB di Colfelice	Arce
		Colfelice
		Pontecorvo
		Roccasecca
		San Giovanni Incarico
TMB2	TMB di Albano	Albano Laziale
		Aprilia
		Ardea
		Ariccia
		Pomezia
		Roma

Codice	Impianto	Comuni
TMB3	TMB di Casale Bussi	Viterbo
		Vitorchiano
TMB4	TMB di Malagrotta	Roma
TMB5	TMB di Rocca Cencia	Monte Compatri
		Roma
TMB6	TMB di Malagrotta	Roma
TMB7	TMB di Roma Salaria	Roma

Tabella 9.25. Codici identificativi degli impianti di trattamento meccanico biologico dei rifiuti urbani

I Comuni limitrofi ai sette impianti di trattamento meccanico e biologico sono quattordici con un numero totale di abitanti pari a 3.052.032 dei quali 2.721.558 sono residenti nel comune di Roma.

Codice	Comune	Popolazione residente nel 2008
TMB1	Arce	5.941
	Colfelice	1.839
	Pontecorvo	13.265
	Roccasecca	7.594
	San Giovanni Incarico	3.440
TMB2	Albano Laziale	38.992
	Aprilia	67.606
	Ardea	40.124
	Ariccia	18.183
	Pomezia	57.363
	Roma	2.721.558
TMB3	Viterbo	61.754
	Vitorchiano	4.454
TMB4	Roma	2.721.558
TMB5	Monte Compatri	9.918
	Roma	2.721.558

Codice	Comune	Popolazione residente nel 2008
TMB6	Roma	2.721.558
TMB7	Roma	2.721.558
Totale comuni		**3.052.032**
Totale Regione Lazio		5.593.864

Tabella 9.26. Popolazione residente nei comuni limitrofi agli impianti di TMB dei rifiuti urbani. (fonte: ISTAT "Stima del carico inquinante delle acque reflue urbane anno 2005-2008)

Analogamente a quanto effettuato nei paragrafi precedenti, sono stati analizzati tre differenti livelli informativi:

- inquadramento territoriale: funzionale a fornire elementi descrittivi correlati alla potenziale "sensibilità" ambientale del contesto territoriale;
- fattori di pressione: diretti e indiretti specifici funzionali alla valutazione quali/quantitativa dei possibili "effetti di dose" sui soggetti residenti e operanti nell' area in studio;
- Indicatori di qualità ambientale: utili a correlare i diversi fattori di esposizione della popolazione in relazione e per confronto con le diverse scale territoriali definite (Ambito territoriale impianto, Comuni limitrofi, Ambito territoriale area vasta).

Inquadramento Territoriale

Le caratteristiche di inquadramento territoriale consentono di mettere a fuoco alcuni degli elementi principali di potenziale interazione tra l'ecosistema umano e i fattori ambientali di impatto dei sistemi antropici.

Descrizione	Range di variabilità Ambito territoriale impianto	Valore medio Ambito territoriale impianto
Popolazione residente	In corso	In corso
% centri urbani	0-76 (%)	38%
Lunghezza infrastrutture stradali principali (Autostrade, SS, Strade extraurbane)	12-59 km (complessivamente 153 km)	35 km
Uso del suolo	Seminativi e aree naturali 51-96 %	Seminativi e aree naturali 73.5%
	Servizi/industria 0-35%	Servizi/industria 17.5%
Lunghezza corsi d'acqua significativi	11-26 Km	18.5 Km
Interazione con aree di protezione ambientale	poco significativa	

Tabella 9.27. Sintesi inquadramento territoriale

Gli impianti di trattamento meccanico-biologico sono collocati rispettivamente 4 nell'area del comune di Roma, 1 in prossimità della discarica di Viterbo, uno presso la discarica di albano laziale e l'ultimo in provincia di Frosinone a Colfelice. Gli ambiti territoriali sono quindi fortemente condizionati dalla presenza e contiguità con le infrastrutture urbane e viarie della zona di Roma.
In particolare la rete stradale principale interessata e la percentuale di aree urbanizzate mostrano livelli di qualche rilevanza (Appendice Tavola 1).

Fattori di Pressione

La stima delle emissioni di inquinanti in atmosfera nel periodo 1996/2008 conferma e maggiormente approfondisce quanto già emerso dall'analisi del punto precedente.
Gli areali degli impianti collocati nell'area di Roma sono soggetti a una pressione derivante dall'insieme delle sorgenti diffuse caratteristica di zone a vocazione mista e con una significativa circolazione di automobili e veicoli pesanti. Il rapporto, quindi, tra le emissioni degli impianti di TMB e quelle degli areali risulta contenuto.

Descrizione	Emissioni Impianti	Emissioni Ambiti territoriali degli impianti	Emissioni comuni limitrofi (t/anno)
Ossidi di azoto	-	4%	53412
Particolato PM_{10}	<1%	13%	4400
Mercurio	-	-	0.09
Arsenico	-	-	0.03
Benzene	<1%	4%	1281
Cadmio	<1%	-	0.08
Cromo			0.073
Diossido di zolfo (SO_2+SO_3)	<1%	3%	7665
Particolato (< 2.5 micron)	<1%	13%	3958
Piombo	-	-	11
Zinco	-	-	3
Nichel	-	-	0.9
Idrogeno solforato (H_2S)	3 (T/anno)		

Tabella 9.28. Sintesi fattori di pressione – sistema TMB

Le aree di Viterbo, Collefelice e Albano sono caratterizzate da un modesto contributo delle emissioni di origine diffusa che si confronta con un quadro emissivo degli impianti di TMB soprattutto caratterizzato da emissioni di polveri totali (connessi al ciclo di trattamento impiantistico) percentualmente poco significative. Comunque, una corretta attenzione viene posta, in fase di autorizzazione e di controllo, alle emissioni

di un insieme articolato di parametri macro e microinquinanti a tutela delle condizioni di impatto ambientale complessivo.

Indicatori di qualità ambientale

Le diverse campagne sperimentali di monitoraggio condotte su postazioni mobile o fisse, già analizzate nei paragrafi precedenti, sono di supporto alla valutazione di indicatori di qualità ambientale anche in questo ambito, visto la sostanziale coincidenza degli impianti di TMB con i complessi impiantistici delle discariche.

Monitoraggi	Area Impianti	
Tipo di Stazione/parametri rilevati	Laboratorio mobile	Rete regionale
Macroinquinanti	x	x
Aldeidi	x	
VOC	x	
Metalli	x	x
IPA	x	x
Diossine	x	
PCB	x	
Idrogeno solforato	X	

Tabella 9.29. Quadro analisi condotte nelle campagne di monitoraggio

Il quadro sinottico costruito per la valutazione degli indicatori di qualità dell'aria associati al sistema degli areali dei TMB evidenzia delle caratteristiche del tutto analoghe a quelle relative al sistema delle discariche.

Quadro sinottico	Ambiti territoriali impianti	Comuni limitrofi	Ambito territoriale area vasta
NO_2 range livelli di concentrazione in aria media annua	22-46 (ug/m3)*	3-74 (ug/m3)*	7-82 (ug/m3)
PM_{10} range livelli di concentrazione in aria media annua	22-32 (ug/m3)*	16-49 (ug/m3)*	12-52 (ug/m3)
Metalli (Cd, NI, As e Pb) % rispetto ai limiti vigenti	5%	-	8%
IPA -Benzo(a)pirene rispetto ai limiti vigenti	38%	-	45%
Benzene rispetto ai limiti vigenti	26%	-	39%

Tabella 9.30. Sintesi indicatori di qualità ambientale

In particolare i livelli medi stimati per via modellistica per PM_{10} e NO_2 indicano una discreta omogeneità delle aree inserite in contesti urbani (vedi Roma) con quanto osservabile in contesti urbani diversi ma a medesima vocazione urbanistica. Inoltre come si evince dal grafico della distribuzione dei livelli di PM_{10} e NO_2 medi, gli areali di Viterbo e Albano sono caratterizzati da indici di qualità dell'aria relativamente favorevoli in confronto a stazioni di misura tipicamente collocate su arterie a traffico intenso.

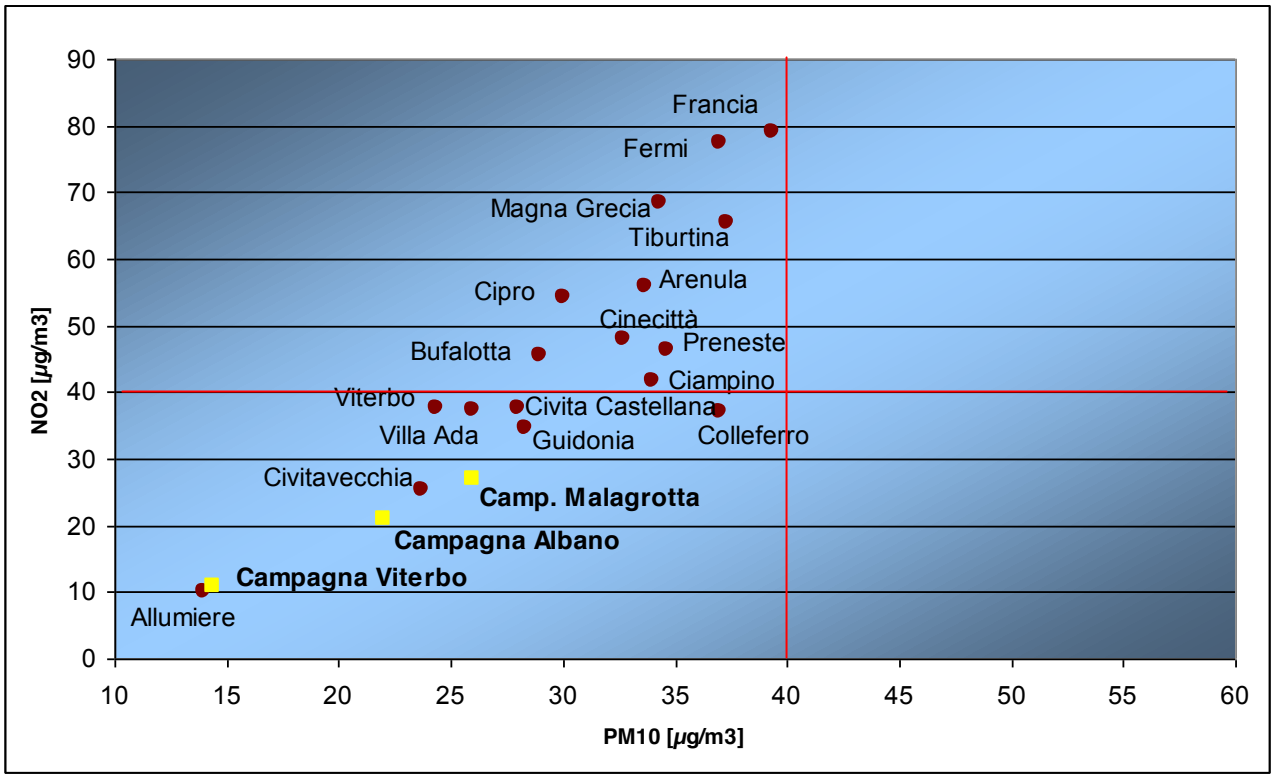


Grafico 9.6. Confronto tra le medie annuali di NO_2 e PM_{10} delle centraline regionali (2008-2010) con le medie delle campagne effettuate dall'ARPA Lazio.

Il quadro complessivo che emerge suggerisce che, dal punto di vista ambientale, oltre il mantenimento di adeguati programmi di controllo degli impianti (AIA) probabilmente una lettura integrata del sistema discariche-TMB rappresenta un efficace ambito di sinergia con le valutazioni a carattere epidemiologico. Inoltre, la predisposizione di una articolata strategia di monitoraggio ambientale che, sulla base di misure continue in stazioni fisse (rete regionale) e misure di parametri inquinanti mirati e specifici per periodi statisticamente significativi consenta di costruire un supporto efficace alla valutazione di piani e programmi di sviluppo e/o di intervento.

Appendici (*)

Schede impianti di gestione rifiuti urbani

Valutazione modellistica dell'impronta (footprint) degli impianti

Report

- ⇒ Il Monitoraggio Della Qualita' dell'aria nei Pressi del Termovalorizzatore di San Vittore del Lazio (Fr)
- ⇒ Risultati e Confronti - Monitoraggi della Qualità dell'aria Impianti di termovalorizzazione dei Rifiuti nella Regione Lazio
- ⇒ Relazione conclusiva sullo stato della qualità dell'aria a Malagrotta nel periodo 13 giugno – 4 dicembre del 2008
- ⇒ Relazione conclusiva sullo stato della qualità dell'aria a Malagrotta nel periodo 7 Febbraio – 2 Aprile del 2009
- ⇒ Valutazione modellistica della qualità dell'aria nell'area di Colleferro
- ⇒ Valutazione ante-operam dei punti di massima ricaduta delle sostanze inquinanti emesse dall'impianto di gassificazione di Albano
- ⇒ Monitoraggio della qualità dell'aria nelle zone interessate dagli impianti di smaltimento dei rifiuti (periodo 2011-2012)

Tavole

TAV.1 Fattori di sensibilità ambientale

TAV.2 Fattori di pressione – Emissioni totali annuali di PM_{10} [t/a]

TAV.3 Livello di concentrazione media annua di PM_{10} [$\mu g/m^3$]

TAV.4 Distribuzione spaziale dell'impronta degli impianti di trattamento dei rifiuti urbani

(*) Le appendici sono riportate nella parte finale del rapporto

Riferimenti bibliografici

Delibera del Consiglio Regionale del Lazio n.66 del 10 del 2009, "*Piano di risanamento della qualità dell'aria*", supplemento ordinario del BUR n.11 del 20 marzo 2010.

ISPRA, "Indagine ambientale nell'area di Malagrotta", aprile 2011
ISPRA, "Rapporto Rifiuti urbani 2011",2012
ISPRA, "Rapporto Rifiuti urbani 2009",2010
ISPRA, "Rapporto Rifiuti 2008",2019
APAT, "Rapporto Rifiuti 2007",2008
APAT - ONR, "Rapporto Rifiuti u2006",2007
APAT - ONR, "Rapporto Rifiuti 2005",2006
APAT - ONR, "Rapporto Rifiuti 2004",2005
APAT - ONR, "Rapporto Rifiuti 2003",2004
APAT - ONR, "Rapporto Rifiuti 2002",2003
APAT - ONR, "Rapporto Rifiuti 2001",2002

EEA, "EMEP/CORINAIR, Emission inventory Guidebook 2007", technical report n.16/2007.

EEA, "EMEP/CORINAIR, Air pollution emission inventory Guidebook 2009", technical report n.9/2009.
US Enviromental Protecion Agency, "Emission factors & AP42", V edizione, 1995.
ISTAT, "Censimento industria e servizi 2001 - Classificazione delle attività economiche Ateco 2007".
ISTAT, "Stime del carico inquinante delle acque reflue urbane", 2010.
ISTAT "Stima del carico inquinante delle acque reflue urbane anno" 2005-2008
ISPRA, "La disaggregazione a livello provinciale dell'inventario nazionale delle emissioni – anni 1190-1995-2000-2005", Rapporti 92/2009.
Delibera della Giunta Regionale del Lazio del 18/01/2012 "Piano di gestione dei rifiuti", supplemento ordinario n.15 del BURL n.10 del 14 marzo 2012.

Delibera del Consiglio Regionale n.66 del 10 dicembre 2009 "Piano di risanamento della qualità dell'aria".

Delibera del Consiglio Regionale n.42 del 2007 "Piano regionale di tutela delle acque".

Anfossi D. (1985): “Analysis of plume rise data from five TVA Steam Plants”. J. Clim. appl. Met. 24, 1225-1236

D. Anfossi, F. Desiato, G. Tinarelli, G. Brusasca, E. Ferrero, D. Sacchetti, (1998): "TRANSALP 1989 Experimental Campaign - part II: Simulation of a tracer experiment with Lagrangian particle models. Atmospheric Environment, 32, 7, 1157-1166.

M. Boznar, G. Brusasca, C. Cavicchioli, P. Faggian, S. Finardi, P. Mlakar, M.G. Morselli, R. Sozzi, G. Tinarelli (1994): "Application of advanced and traditional diffusion models to an experimental campaign in complex terrain". Reprint of Second International Conference "Air Pollution 1994", 27-29 Sept 1994, Barcelona, Spain, pp. 159-166.

Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D., Zannetti P. (1987): "Particle modeling simulation of atmospheric dispersion using the MC-LAGPAR package", Environmental Software 2,151-158.

Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D. (1989): "Comparison between the results of a Monte Carlo atmospheric diffusion model and tracer experiments", Atmospheric Environment 23, 1263-1280.

Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D. (1992): "Particle model simulation of diffusion in low windspeed stable conditions", Atmospheric Environment 26, 707-723.

Geai P. (1987): “Methode d'interpolation and reconstitution tridimensionelle d'un champ de vent: le code d'analyse objective MINERVE”, EDF/DER report HE-34/87.03.

Hanna S. R. (1982): “Application in air pollution modelling” in “Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modelling”. Ed. by S.T.M. Nieuwstadt and H.Van Dop, D.Reitell Pub. Comp., pp.275-310.

Manzi G., Brusasca G., Morselli M.G., Tinarelli G. (1998): “Indagine generale per lo studio pluridisciplinare del deperimento del pino silvestre ed altre specie botaniche in Val D’Aosta, simulazione della dispersione in atmosfera degli inquinanti emessi dal traffico veicolare e dal riscaldamento”, relazione ENEL/CRAM 1998-0022

Pacitti M., P. Mensio, G. Brusasca, G. Tinarelli, G. Genon, F. Marchese, G. Nobile, G. Malvasi (1987): "Global evaluation of the activity of toxic and hazardous waste landfills using monitoring and modeling integrated system". Proc. of 5th International Conference "Air Pollution 1997", 16-18 September, Bologna, Italy. Air Pollution V, modelling, monitoring and management, 517-526, Computational Mechanics Publications.

Paine, R.J.(1988): "User's guide to the CTDM meteorological preprocessor (METPRO) program". US-EPA Report EPA/600/8-88/004.

Pielke R.A., Cotton W.R., Walko R.L., Tremback C.J., Lyons W.A., Grasso L.D., Nicholls M.E., Moran M.D., Wesley D.A., Lee T.J. and Copeland J.H. (1992): "A comprehensive meteorological modelling system – RAMS". Meteorol. Atmos. Phys. 49, 69-91.

Rodrigues D.J., Greenly G. D., Gresho P. M., Lange R., Lawver B. S., Lawson L. A., and Walker B. (1982): "User's guide to the MATHEW/ADPIC models", Lawrence Livermore National Laboratory, Univrsity of California, Atmospheric and Geophysical Sciences Division, Livermore, California, USAG 82-16.

Scire J.S., Insley E.M., Yamartino R.J. (1990): "Model formulation and user's guide for the CALMET meteorological model". Rep. No. A025-1, Sigma Research Corporation, prepared for the California Air Resources Board, Sacramento, CA..

Stefani A., Brusasca G., Grigolon E., Martinelli U., Marzorati A. (1997): "Integrazione di un sistema di supervisione ambientale nel sistema informativo della Centrale Termoelettrica di Fusina", Atti del 97° convegno AEI - Baveno (VB) 7-9 Maggio 1997.

Thomson D.J. (1984): "Random walk modelling of diffusion in inhomogeneous turbulence", Q. J. R. Meteorol. Soc. 110, 1107-1120.

Thomson D.J. (1987): "Criteria for the selection of stochastic models of particle trajectories in turbulent flows". J. Fluid Mech., 180, 529-556.

Tinarelli G., Anfossi D., Brusasca G., Ferrero E., Giostra U., Morselli M.G., Moussafir J., Tampieri F., Trombetti F. (1994): "Lagrangian particle simulation of tracer dispersion

in the lee of a schematic two-dimensional hill", Journal of Applied Meteorology, Vol. 33, N. 6, 744-756.

1987 Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D., Zannetti P.: "Particle modeling simulation of atmospheric dispersion using the MC-LAGPAR package", Environmental Software 2,151-158.

Anfossi D., Brusasca G., Tinarelli G.: "Sensitivity analysis of a Monte Carlo atmospheric diffusion model", Il Nuovo Cimento C 11, 13-28.

Brusasca G., Tinarelli G., Moussafir J., Biscay P., Zannetti P., Anfossi D.: "Development of a portable FORTRAN 77 code for Monte Carlo particle modelling of atmospheric diffusion (MC-LAGPAR II) - Validation against analytical solution and tracer experiments", Proc. of Envirosoft '88, Porto Carras (Greece) 27-29 September:Computer Tecnique in Environmental studies, Computational Mechanics Pub., Springer-Verlag, 431-450.

1989 Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D.: "Comparison between the results of a Monte Carlo atmospheric diffusion model and tracer experiments", Atmospheric Environment 23, 1263-1280.

1990 Anfossi D., Brusasca G., Tinarelli G.: "Simulation of atmospheric diffusion in low windspeed meandering conditions by a Monte Carlo dispersion model". Il Nuovo Cimento C 13, N. 6, 995-1006.

Anfossi D., Brusasca G., Tinarelli G.: "Results from a random walk dispersion model in low windspeed stable conditions", Proc. of 9th Symposium on Turbulence and Diffusion, American Meteorological Society, Roskilde (Denmark), April 30 - May 3, 6.1, 160-163.

Brusasca G., Morselli M.G., Anfossi D.: "Particle diffusion model evaluation against tracer experiments", Proc. of the 18th CCMS-NATO meeting, Vancouver (Canada), 13-17 May, Air Pollution Modelling and its Application VIII, Plenum Press, 625-626.

1991 Anfossi D., Brusasca G., Tinarelli G.: "Modello lagrangiano di dispersione di inquinanti in atmosfera a scala locale", Bollettino Geofisico XIV, 1, 23-33.

Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D., Ferrero E., Tampieri F., Trombetti F.: "Development of a Lagrangian stochastic model for dispersion in complex terrain", Proc.of the 19th CCMS-NATO meeting, Ierapetra, Crete (Greece), 29 September - 4 October 1991; Air Pollution Modelling and its Application X, Plenum Press, 329-337.

Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D., Ferrero E., Castelli G., Centemeri M., Finzi G.: "Software presentation of LAMBDA code - LAgrangian Model for Buoyant Dispersion in the Atmosphere", Proc. onf the 19th CCMS-NATO meeting Ierapetra, Crete (Greece), 29 September - 4 October; Air Pollution Modelling and its Application IX, Plenum Press, 723-724.

Finzi G. e G. Brusasca: "La Qualità dell'Aria: Modelli Previsionali e Gestionali", Cap. 4 “Modelli di diffusione a particelle”, MASSON Editore, pp. 346.

1992 Anfossi D., Ferrero E., Brusasca G., Tinarelli G., Tampieri F., Trombetti F., Giostra U.: "Dispersion simulation of a wind tunnel experiment with lagrangian particle models", Il Nuovo Cimento C 15, 139-158.

Anfossi D., Brusasca G. Ferrero E. (1992): "Modelli per la dispersione degli inquinanti in atmosfera", Le Scienze n. 288, 38-49.

Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D.: "Particle model simulation of diffusion in low windspeed stable conditions", Atmospheric Environment 26, 707-723.

Tampieri F., C. Scarani, U. Giostra, G. Brusasca, G.Tinarelli, D. Anfossi, E. Ferrero: "On the application of random flight dispersion models in inhomogeneous turbulent flows", Annales Geophysicae, 10, 749-758.

Tinarelli G., Giostra U., Ferrero E., Tampieri F., Anfossi D., Brusasca G., Trombetti F.: "SPRAY, a 3-D particle model for complex terrain dispersion", Proc. of 10th Symposium on Turbulence and Diffusion, American Meteorological Society, Portland, Oregon (USA), 29-Sept. - 2 Oct, P2.9, 147-150.

Giostra U., Tampieri F., Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D., Ferrero E. (1992): "Sulla applicazione di modelli di dispersione Lagrangiani a condizioni di turbolenza non omogenea", 9° Convegno Nazionale GNFAO, Roma 8-9-10 giugno, Bollettino Geofisico XV, N. 1, 90-91.

1993 Anfossi D., Ferrero E., Brusasca G., Marzorati A., Tinarelli G.: "A simple way of computing buoyant plume rise in Lagrangian stocastic dispersion models", Atmospheric Environment 27A, 1443-1451.

Brusasca G., Morselli M.G., Anfossi D.: "Model evaluation criteria on tracer experimental data". Proceeding of the Manno workshop "Intercomparison of advanced practical short-range atmospheric dispersion models" August 30- September 3 1993, Manno, Switzerland 131-140.

Tinarelli G., Anfossi D., Brusasca G., Ferrero E., Morselli M.G., Moussafir J.: "A complete 3-D Lagrangian particle model to simulate the dispersion of non-reacting airborne pollutants over complex terrain". Proceedings of the Manno workshop "Intercomparison of advanced practical short-range atmospheric dispersion models" August 30- September 3 1993, Manno, Switzerland 103-111.

Brusasca G., Marzorati A., Nadalutti M., Sguarnieri S., Tinarelli G., Zardetto G.: "Nodo Intelligente per il monitoraggio ambientale dell'area industriale di Porto Marghera e Fusina", atti del convegno internazionale ANIPLA, Milano, 23-25 Novembre 1993, 797-811.

Tinarelli G., Anfossi D., Brusasca G., Ferrero E., Giostra U., Morselli M.G., Tampieri F., Trombetti F.: "Lagrangian model simulation of 3-d concentration distribution over complex terrain", Proc. of the 20th CCMS-NATO meeting, Valencia, 29 November-3 Dicember 1993; Air Pollution Modelling and its Application X, Plenum Press, 621-622.

1994 Boznar M., G. Brusasca, C. Cavicchioli, P. Faggian, S. Finardi, P. Mlakar, M.G. Morselli, R. Sozzi, G. Tinarelli: "Application of advanced and traditional diffusion models to an experimental campaign in complex terrain". Reprint of Second International Conference "Air Pollution 1994", 27-29 Sept 1994, Barcelona, Spain, pp. 159-166.

Nanni A., Riva M., Tinarelli G., Brusasca G.: “Particle model simulation of pollutants dispersion from a line source in complex terrain”, Proc. of 5th International Symposium on Highway and Urban Pollution, Copenhagen, 22-24 May 1994. Pubblicato su The Science of the total Environment, Elsevier 189/190, 301-309 (1996).

Tinarelli G., Anfossi D., Brusasca G., Ferrero E., Giostra U., Morselli M.G., Moussafir J., Tampieri F., Trombetti F.: "Lagrangian particle simulation of tracer dispersion in the lee of a schematic two-dimensional hill", Journal of Applied Meteorology, Vol. 33, N. 6, 744-756.

1995 Anfossi D., Sacchetti D., Trini Castelli S.: “Development and sensitivity analysis of a Lagrangian particle model for long range dispersion”, Environmental Software 10, 263-287.

Brusasca G., Ferrero E., Anfossi D., Desiato F., Tinarelli G., Morselli M.G., Finardi S., Sacchetti D.: "Intercomparison of 3-D flow and particle models with Transalp 1989 meteorological and tracer data", Proc. of the 21st CCMS-NATO meeting, Baltimore, 6-10 November, 1995, 386-394. Air Pollution Modelling and its Application XI, Plenum Press, 559-567.

Ferrero E., Anfossi D., Brusasca G., Tinarelli G.: "Lagrangian Particle Model: Evaluation against Tracer Data", Int. J. Environment and Pollution, Vol. 5, N. 4-6, 360-374.

Tampieri F., U. Giostra, F. Trombetti, D. Anfossi, E. Ferrero, G.Tinarelli: "Flux gradient relationships for turbulent dispersion in complex terrain", Nonlinear Processes in Geophysics, 2, 89-100.

1996 Anfossi D., Ferrero E., Sacchetti D., Trini Castelli S.: "Comparison among empirical probability density functions of thevertical velocity in the surface layer based on higher order correlations", Boundary Layer Meteorology, 82, 193-218.

Ferrero E., Anfossi D., Brusasca G., Tinarelli G., Alessandrini S., Trini Castelli S.: “Simulation of atmospheric dispersion in convective boundary layer: comparison between different Lagrangian particle models”, 4th Workshop on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Oostende, 6-9 May 1996, 67-74. Pubblicato su Int. J. Environment and Pollution, Vol 8, Nos. 3-6, 315-323.

1997 Anfossi D., E. Ferrero, G. Tinarelli, S. Alessandrini: “A simplified version of the correct boundary conditions for skewed turbulence in Lagrangian particle models”, Atmospheric Environment, 31, 2, 301-308.

Stefani A., Brusasca G., Grigolon E., Martinelli U., Marzorati A. "Integrazione di un sistema di supervisione ambientale nel sistema informativo della Centrale Termoelettrica di Fusina", Atti del 97° convegno AEI - Baveno (VB) 7-9 Maggio 1997, 65-70.

Bacci P., Brusasca G., Morselli M.G. (1997): “Modellistica dell’inquinamento atmosferico prodotto da impianti industriali in condizioni meteo-diffusive complesse”, SIDISA – Simposio internazionale di ingegneria sanitaria ambientale, Revello 3-7 giugno 1997.

Pacitti, M. P. Mensio, G. Brusasca, G. Tinarelli, G. Genon, F. Marchese, G. Nobile, G. Malvasi: "Global evaluation of the activity of toxic and hazardous waste landfills using monitoring and modeling integrated system". Proc. of 5th International Conference "Air Pollution 1997", 16-18 September, Bologna, Italy. Air Pollution V, modelling, monitoring and management, 517-526, Computational Mechanics Publications.

Brusasca G.: "La modellistica di dispersione degli inquinanti in atmaosfera", Giornate di Studio "Progettare la qualità dell'aria", 25-27 Settembre, Lipari (ME).

Trini Castelli S., Anfossi D.: "Intercomparison of 3-D turbulence parameterizations for dispersion models in complex terrain derived from a circulation model". Nuovo Cimento, 20 C, 287-313, Editrice Compositori, Bologna.

Ferrero E., D.Anfossi, G. Tinarelli, S. Trini Castelli: "An intercomparison of two turbulence closure schemes and four parameterizations for stochastic dispersion models". Nuovo Cimento, 20 C, 315-329, Editrice Compositori, Bologna.

Ferrero E., D.Anfossi, G. Brusasca, G. Tinarelli, Alessandrini S., S. Trini Castelli: "Simulation of atmospheric dispersion in convective boundary layer: comparison between two Lagrangian particle models". Int. J. Environment and Pollution, 8, 315-323.

1998 Anfossi D., F. Desiato, G. Tinarelli, G. Brusasca, E. Ferrero, D. Sacchetti, "TRANSALP 1989 Experimental Campaign - part II: Simulation of a tracer experiment with Lagrangian particle models., Atmospheric Environment, 32, 7, 1157-1166.

Ferrero E., Anfossi D., Tinarelli G., Tamiazzo M. "Intercomparison of Lagrangian stochastic models based on two different PDF's'. 5th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modeling for Regulatory Purposes, Rhodes, Greece, 18-21 May 1998.

Tinarelli G., Anfossi D., Bider M., Ferrero E., Trini Castelli S.: "A new high performance version of the Lagrangian particle dispersion model SPRAY, some case studies", Preprints of the 23rd CCMS-NATO meeting, Varna, 28 September - 2 October 1998, 343-350. DEMETRA publications.

Anfossi D., Trini Castelli S., Ferrero E., Brusasca G., Tinarelli G.: "Confronto tra modelli stocastici Lagrangiani di dispersione nello strato limite convettivo basati su diverse PDF", Convegno di Meccanica Stocastica, Lampedusa, 1-3 giugno 1998.

Bacci P., Brusasca G., Morselli M.G., Negri A., Tinarelli G.: "Modellistica di diffusione per la gestione dei rifiuti", RICICLA '98, Rimini, 17-20 settembre 1998.

Degrazia G., D.Anfossi: "Estimation of the Kolmogorov constant C0 from classical statistical diffusion theory". Atmospheric Environment, 32, 3611-3614. Pergamon Press, Oxford.

Ferrero E., D. Anfossi: "Comparison of PDFs, closures schemes and turbulence parameterizations in Lagrangian Stochastic Models". Int. J. Environment and Pollution, 9, 384-410.

Ferrero E., D. Anfossi: "Sensitivity analysis of Lagrangian Stochastic models for CBL with different PDF's and turbulence parameterizations". Air Pollution Modelling and its Applications XII, S.E. Gryning and N. Chaumerliac eds., Plenum Press, New.

1999 Sansigolo Kerr A., Anfossi D., Aparecida Do Nascimiento S.: "Analysis of the atmospheric aerosol impact on Serra do Mar Sierra, Cubatao, Brazil", 2nd International Conference - Urban Air Quality, Madrid, 3-5 March, 1999.

Anfossi D., Bellasio R., Bianconi R., Bider M., Canepa E., Modesti F., Mosca S., Ratto C., Tinarelli G., Trini Castelli S.: "A prototype integrated system of models simulating accidental releases and atmospheric dispersion in a topographically complex area". 4th International Congress "Energy, Environment and Technological Innovation", Rome, September 20-24, 1999.

Ferrero E., Tamiazzo M., Anfossi D., Tinarelli G.: "Lagrangian stochastic models applied to urban atmospheric dispersion". 4th International Congress "Energy, Environment and Technological Innovation", Rome, September 20-24, 1999.

Sansigolo Kerr A., Anfossi D., Carvalho J., Trini Castelli S.: "A dispersion study of the aerosol emitted by fertilizer plants in the region of Serra do Mar Sierra, Cubatao, Brazil". 6th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modeling for Regulatory Purposes, Rouen, France, 11-14 October 1999.

Ferrero E., Anfossi D., Tinarelli G.: "Simulation of atmospheric dispersion in urban stable boundary layer". 6th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modeling for Regulatory Purposes, Rouen, France, 11-14 October 1999.

Carvalho J., G. Degrazia, D.Anfossi, S. Trini Castelli: "Simulation of Copenhagen tracer diffusion experiment by means of a Lagrangian particle model", Hybrid Methods in Engineering, 1, 309-327,2000.

Anfossi D., G. Degrazia, E. Ferrero, S.E. Gryning, M.G. Morselli, S. Trini Castelli: "Estimation of the Lagrangian structure function constant C0 from surface layer wind data". Boundary-Layer Meteorology, 95, 249-270.

Tinarelli G., D.Anfossi, M. Bider, E.Ferrero, S. Trini Castelli: "A new high performance version of the Lagrangian particle dispersion model SPRAY, some case studies". Air Pollution Modelling and its Applications XIII, S.E. Gryning and E. Batchvarova eds., Kluwer Academic / Plenum Press, New York, 499-507.

Anfossi D., G. Degrazia, E. Ferrero, S.E. Gryning, M.G. Morselli, S. Trini Castelli: "Estimation of Kolmogorov constant C0 from sonic anemometer measurements in the Atmospheric Surface Layer". Air Pollution Modelling and its Applications XIII, S.E. Gryning and E. Batchvarova eds., Kluwer Academic / Plenum Press, New York, 631-639 in press (2001).

Cuffini S., Pavone F., Anfossi D., Nanni A., Tinarelli G.: "Metodologie integrate per il controllo della qualità dell'aria in aree ad alta urbanizzazione". Atti del convegno "Arie di città" – Bologna 28-30 Novembre 2000, in press.

Ferrero E., D. Anfossi, G. Tinarelli, S. Trini Castelli: "Lagrangian Particle Simulation of an EPA Wind Tunnel Tracer Experiment in a Schematic Two-Dimensional Valley". Air Pollution Modelling and its Applications XIV, S.E. Gryning and F.A. Schiermeier eds., Kluwer Academic / Plenum Press, New York, in press.

Finardi S., G. Tinarelli, A. Nanni, D. Anfossi, E. Ferrero, S. Trini Castelli: "In situ diagnostic or nested prognostic meteorological models to drive dispersion simulations in complex area: a comparison in a real application". Air Pollution Modelling and its Applications XIV, S.E. Gryning and F.A. Schiermeier eds., Kluwer Academic / Plenum Press, New York, in press.

Carvalho J., G. Degrazia, D. Anfossi, S. Trini Castelli: "Study of the transport and diffusion process in the PBL using the RAMS and SPRAY models: application to the TRACT experiment". Air Pollution Modelling and its Applications XIV, S.E. Gryning and F.A. Schiermeier eds., Kluwer Academic / Plenum Press, New York, in press.

Ferrero E., D.Anfossi, G. Tinarelli: “Simulation of atmospheric dispersion in urban stable boundary layer“. In press on IJEP.

Sansigolo Kerr A., D. Anfossi, S. Trini Castelli, S. Nascimiento: “Investigation of inhalable aerosol dispersion at Cubatao by means of a modelling system for complex terrain”. In press on Hybrid Methods in Enginnering.

Sansigolo Kerr A., D. Anfossi, J. Carvalho, S. Trini Castelli: “A dispersion study of the aerosol emitted by fertilizer plants in the region of Serra do Mar Sierra, Cubatao, Brazil”. In press on IJEP.

Ferrero E., D.Anfossi, G. Tinarelli, M. Tamiazzo: "Intercomparison of Lagrangian stochastic models based on two different PDF's'. In press on IJEP.

Brusasca G., Carboni G., Finardi S., Sanavio D., Tinarelli G., Toppetti A., (2001): “Comparison of a Gaussian (ISC3) and a Lagrangian Particle Model (SPRAY) for Regulatory applications in Flat and Complex Terrain Sites Representative of Typical Italian Landscape”, presented to the 7th International Conference on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Belgirate, Italy, May 28-31, 2001.

D/EP/Lazio
Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale - Regione Lazio

Regione Lazio

ARPALAZIO

Rapporto

"Epidemiologia Rifiuti Ambiente Salute nel Lazio - ERAS Lazio"

Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione esposta a processi di raccolta, trasformazione e smaltimento dei rifiuti urbani nella regione Lazio

Volume 3

(E) RAPPORTO SALUTE

IL DISEGNO E LA METODOLOGIA DEGLI STUDI EPIDEMIOLOGICI

INTRODUZIONE

Lo studio di coorte è comunemente utilizzato in epidemiologia per l'analisi degli effetti di salute di un potenziale fattore di rischio. Questo approccio, a differenza di altri, permette di stimare il tempo esatto in cui ogni soggetto è stato a rischio di sviluppare l'evento in studio (tempo-persona). La sequenza temporale dello studio viene stabilita rispetto alla collocazione nel tempo dell'osservatore. Lo studio di coorte è definito prospettico, se l'informazione sull'esposizione è registrata all'inizio dello studio ed il *follow-up* è condotto nel futuro o retrospettivo, se la coorte viene definita nel passato ed il tempo a rischio è intercorso prima dell'inizio dello studio.

Un aspetto cruciale nella pianificazione di qualsiasi studio epidemiologico riguarda l'individuazione di fonti dei dati adatte all'identificazione della popolazione che ha dato origine ai casi (popolazione sorgente) e dell'esito in studio. Uno studio di coorte retrospettivo può essere svolto anche utilizzando i dati raccolti dai Sistemi Informativi correnti, grazie all'integrazione di archivi di popolazione e archivi di dati sanitari. L'indubbio vantaggio in termini di contenimento dei costi può comportare un grande dispendio in termini di gestione dei dati perché questi archivi nascono con finalità diverse da quelle di uno studio epidemiologico. E', perciò, importante che questi archivi siano completi (per limitare la perdita selettiva di informazioni), validi (per limitare la presenza di errori sistematici), di qualità omogenea per tutto il periodo in studio ed accurati (per evitare errori di informazione). Il disegno dello studio di coorte tende, per costruzione, a ridurre i problemi relativi al *bias* di informazione e di selezione, ma la scarsa qualità della fonte informativa potrebbe tuttavia inficiare la validità dell'analisi. Fonti informative largamente disponibili sono le anagrafi comunali che, nel Lazio dal 1996, sono disponibilii in formato digitale e forniscono informazioni relative alla popolazione residente ed i suoi movimenti nel tempo.

La misura dell'esposizione è particolarmente delicata in epidemiologia ambientale poiché la variabile di esposizione individuale è spesso solo un'approssimazione della esposizione vera[1]. Quanto più è imprecisa sarà questa misura tanto più vi sarà il rischio di una misclassificazione dell'esposizione che può portare ad una attenuazione dei rischi relativi stimati. La definizione dell'esposizione, in molti studi, si basa su modelli di dispersione degli inquinanti emessi dalla fonte di inquinamento presa in esame nell'analisi[2-3]. In quest'ottica risulta indispensabile l'integrazione dei dati di

popolazione con sistemi d'informazione geografica (GIS – Geographic Information System). Nell'ambito dell'epidemiologia ambientale è sempre più diffuso l'utilizzo di dati di popolazione georiferiti per la selezione degli esposti sulla base della distanza della loro residenza da fonti di inquinamento presenti nel territorio quali industrie[4], antenne radio e tv[5], inceneritori[6], discariche[7] e strade[8-10].

Uno degli obiettivi di ERAS Lazio è la valutazione, attraverso studi di coorte di popolazione, dello stato di salute delle persone residenti in prossimità degli impianti per il trattamento dei rifiuti e dei lavoratori addetti al ciclo dei rifiuti. In questo ambito sono stati redatti i seguenti rapporti:

- Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione residente nei pressi delle discariche per i rifiuti urbani del Lazio;
- Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione residente nell'area di Malagrotta a Roma;
- Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione residente nei pressi dei termovalorizzatori del Lazio;
- Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione residente nei pressi degli impianti di trattamento meccanico-biologico del Lazio;
- La salute riproduttiva delle donne residenti nei pressi dei termovalorizzatori e delle discariche del Lazio;
- Valutazione epidemiologica dello stato di salute dei lavoratori addetti alla raccolta, trasporto e smaltimento dei rifiuti urbani a Roma.

La metodologia utilizzata in queste analisi è riassunta nella Figura 1. Le coorti di popolazione arruolate hanno utilizzato come fonte dei dati gli archivi anagrafici dei comuni interessati e i Sistemi Informativi Sanitari Regionali per la definizione degli esiti sanitari. L'esposizione ad impianti per il trattamento dei rifiuti (discariche e termovalorizzatori) è stata definita sulla base di due misure: la distanza dal perimetro degli impianti e la concentrazione al suolo dell'inquinante considerato come tracciante del singolo impianto, definita sulla base di modelli di dispersione. Tutte le coorti sono state georeferenziate (attribuzione delle coordinate geografiche agli indirizzi di residenza dei soggetti inclusi nello studio), non solo per attribuire ad ognuno la misura dell'esposizione, ma anche per descrivere al meglio le caratteristiche individuali (livello socio-economico) e la realtà circostante (eventuali altri fattori di pressione ambientale presenti nel territorio).

In questo rapporto vengono riassunti i metodi utilizzati per l'analisi epidemiologica nell'ambito del Progetto ERAS Lazio:

- lo sviluppo di una metodologia affidabile per la costruzione di coorti di popolazione da fonte anagrafica e il *follow-up* utilizzando i Sistemi Informativi Sanitari;
- la georeferenziazione dei soggetti inclusi nello studio (attribuzione delle coordinate geografiche agli indirizzi di residenza delle coorti);
- la definizione dell'esposizione attraverso l'uso di modelli di dispersione;
- l'analisi statistica e le misure di associazione utilizzate per valutare la relazione tra esposizione e mortalità/morbosità (Modello di Cox, Hazard ratio).

METODI

Costruzione di coorti di popolazione da fonte anagrafica e accertamento degli esiti sanitari

Agli uffici anagrafici dei comuni in studio sono stati richiesti i dati della popolazione residente al 1 Gennaio 1996 e di tutti coloro che sono entrati nel comune (per nascita o immigrazione) o usciti dal comune (per morte o emigrazione) nel periodo 1996-2008. Per ogni persona sono state richieste le informazioni anagrafiche (cognome, nome, data di nascita, comune di nascita, data di decesso e sesso), l'indirizzo di residenza e tutte le date relative ai movimenti da e per il comune (data di emigrazione, immigrazione). Ogni record relativo ad un individuo doveva essere provvisto di un codice identificativo (numero progressivo individuale) e del codice fiscale. Sono stati richiesti anche i cambiamenti di residenza all'interno dello stesso comune, ma per la maggior parte delle anagrafi oggetto dello studio queste informazioni non sono ancora disponibili in formato digitale.

I dati ricevuti sono stati sottoposti a diversi controlli di qualità:

- è stata verificata la presenza di tutti i campi richiesti: nei casi in cui l'anagrafe non ha fornito informazioni fondamentali, non ricavabili da altre variabili (cognome, nome, data di emigrazione, data di decesso, indirizzo di residenza ecc.), è stata inviata una nuova richiesta dati. In altri casi le informazioni non complete sono state ricavate da altre già disponibili (ad esempio l'attribuzione del sesso, sulla base del codice fiscale o del nome).

- è stata valutata la completezza dei dati (quante informazioni mancanti): negli archivi anagrafici spesso risultava non compilata l'informazione relativa alla data di iscrizione. Per attribuire questa informazione è stata utilizzata la data di nascita, se la persona era nata nel comune, la data di immigrazione, se la persona era nata altrove ma immigrata nel comune e la data di inizio *follow-up* per gli altri.

Dopo aver effettuato questi primi controlli, è stato verificato che l'anagrafe avesse effettuato una corretta estrazione dati. Sono state, quindi, esaminate le date di nascita, immigrazione, emigrazione e morte, per controllare che non vi fossero degli anni senza eventi e che la frequenza immigrazione degli eventi fosse approssimativamente costante nel periodo in studio (1996-2008). Per emigrazioni e decessi è stata necessaria un'ulteriore verifica: il confronto del numero di deceduti per anno con i dati del ReNCaM (Registro Nominativo delle Cause di Morte); il confronto del numero di emigrazioni con il dato ISTAT.

Una volta verificata la completezza dei dati anagrafici, è stata selezionata la coorte dei residenti:

1. è stata verificata la presenza/assenza di record doppi per codice individuale fornito dall'anagrafe e sono state eliminate le informazioni ripetute;
2. è stato verificato che il codice fiscale, dove presente, fosse attendibile e il più possibile completo;
3. a seguito di una lunga procedura di sistemazione delle variabili, è stato ricalcolato il codice fiscale mediante un algoritmo basato su cognome, nome, data di nascita, sesso e comune di nascita dell'individuo. Se incompleto, il codice fiscale ricalcolato è stato sistemato e integrato sulla base del codice fiscale fornito dall'anagrafe;
4. è stata verificata la presenza di record doppi per codice fiscale ricalcolato, sono state eliminate le informazioni ripetute e integrate quelle aggiuntive (es. diverse date di emigrazione ed immigrazione su più record relative allo stesso individuo);
5. è stata selezionata la coorte sulla base delle date di iscrizione e cancellazione dal comune. Sono stati, per esempio, eliminati i nati dopo la chiusura del *follow-up* (2009), i deceduti prima dell'inizio del *follow-up* (1996) e le emigrazioni o immigrazioni avvenute al di fuori del periodo di osservazione;

6. per ogni individuo è stato accertato lo stato in vita alla fine del *follow-up* (vivo/morto, emigrato o irreperibile).

Come fonte dati della mortalità (1996-2008) è stato utilizzato il Registro Nominativo delle Cause di Morte (ReNCaM) che contiene tutti i decessi avvenuti nel Lazio a prescindere dalla residenza del deceduto e tutti i decessi dei residenti nella regione a prescindere dal luogo di decesso. Come fonte dati dei ricoveri ospedalieri è stato utilizzato il 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 a partire dal 1994, con una copertura e qualità dei dati soddisfacente solo dal 1996.

Georeferenziazione degli indirizzi di residenza delle coorti in studio

Negli ultimi anni si è diffuso l'utilizzo di software basati su sistemi di informazione geografica (es. ArcGIS), utili non solo per elaborare mappe ma anche per integrare i dati sanitari o di popolazione in un sistema geografico, effettuare analisi spaziali e per la valutazione dell'esposizione. Gli indirizzi di residenza delle coorti arruolate nell'ambito del progetto ERAS Lazio sono stati georeferenziati per assegnare l'esposizione ed attribuire ad ogni individuo della coorte le variabili ambientali e di contesto sociale utili per definire al meglio l'associazione tra l'esposizione a discariche/inceneritori e mortalità/morbosità per causa.

Le informazioni necessarie per la georeferenziazione degli indirizzi di residenza sono:

- nome della via (es. "Viale Manzoni");
- numero civico (es. "103");
- indirizzo (es. "Viale Manzoni 103");
- CAP (es. "00182");
- Comune (es. "Roma");
- Stato (es. "Ita").

I nomi delle vie di residenza sono stati modificati perché vi fosse una corrispondenza con le vie dello stradario di TELEATLAS, contenute nel software ArcGIS (es. da "Viale Manzoni" a "Viale Alessandro Manzoni"). La via modificata e il numero civico sono stati utilizzati per definire l'indirizzo di residenza corretto. Questo indirizzo è stato poi geocodificato attraverso una procedura automatica del software ArcGIS che restituisce

le coordinate geografiche di tutti gli indirizzi individuati sul territorio dal software. È stato necessario procedere con una geocodifica manuale nei seguenti casi:

1. nello stradario era presente la via ma non quel particolare numero civico: sono state quindi attribuite le coordinate geografiche dei numeri civici vicini;
2. la via non era presente nello stradario: è stata effettuata una ricerca sul sito http://it.bing.com/ che restituisce le coordinate geografiche corrispondenti (in termini di Latitudine e Longitudine).

Chiaramente, in caso di quote elevate di indirizzi non georeferenziati o di informazioni mancanti/irreperibili, il comune è stato escluso dallo studio per evitare un *bias* di selezione.

Definizione dell'esposizione e modelli di dispersione

La valutazione dell'esposizione agli impianti di trattamento dei rifiuti si basa solitamente sulla distanza tra due punti: l'impianto (un punto, nel caso di un camino, un perimetro nel caso di una discarica) e la residenza del soggetto, nell'ipotesi che il rischio aumenti all'avvicinarsi agli impianti. Tale approccio non considera la complessità dei meccanismi che intervengono nella diffusione degli inquinanti in aria, dovuta principalmente alla meteorologia e all'orografia del territorio. I modelli di dispersione consentono di tenere conto di questi aspetti, restituendo mappe di concentrazione degli inquinanti che rappresentano l'impronta al suolo dell'impianto considerato. Nel progetto ERASLazio, sono state dunque considerati due approcci per la misura dell'esposizione della popolazione residente nei pressi degli impianti per il trattamento dei rifiuti: la distanza e le impronte degli inquinanti scelti come traccianti degli impianti in studio (Idrogeno Solforato - H_2S - per le discariche, polveri PM_{10} per i termovalorizzatori). Per le 9 discariche e i 2 termovalorizzatori presenti nel Lazio è stato definito un dominio di simulazione modellistica (30x30 Km) centrato su ciascun impianto. Le emissioni di questi inquinanti sono state stimate considerando quantità autorizzate, tipologia di impianto (puntiforme o areale) e modalità di emissione (altezza di rilascio, velocità dei fumi e relativa temperatura). Per stimare le tonnellate/anno emesse dalle sorgenti areali (discariche) è stato usato il modello Landfill Gas Emissions, sviluppato dalla US Environmental Protection Agency[11], il quale considera gli anni di attività della discarica, la sua capacità e il quantitativo di rifiuto/anno conferito. I lotti delle discariche sono stati suddivisi in celle di 125x125m al fine di distribuire sull'area della discarica le emissioni ottenute; le emissioni stimate

in ogni cella hanno costituito l'input per il modello SPRAY. Nel caso di termovalorizzatori e raffinerie, invece, non è necessario stimare il quantitativo di inquinante emesso, perché si utilizzano i valori autorizzati.

Le emissioni degli impianti (discarica, inceneritore), così ottenute, sono state fornite al modello lagrangiano a particelle 3D SPRAY insieme ai campi metereologici 3D generati da RAMS. Il risultato dell'integrazione di questi modelli è la definizione dell'impronta al suolo di ogni singolo impianto. La scelta di un modello lagrangiano a particelle è dovuta alla complessità dell'orografia del territorio laziale. In zone che presentano un'orografia meno complessa e una meteorologia meno variabile è possibile eseguire le stesse stime utilizzando modelli di dispersione più semplici (modello gaussiano)[12].

Analisi statistica e misure di associazione

L'associazione tra gli indicatori di esposizione (distanza o concentrazioni di inquinanti) e la mortalità/morbosità delle coorti è stata valutata mediante il modello di sopravvivenza di Cox. Questo modello semiparametrico è basato sull'assunto che il rapporto tra i rischi sia costante nel tempo, senza specificare il rischio al baseline. Il Rischio Relativo (RR), stimato dal modello di Cox che nello specifico prende il nome di Hazard Ratio (HR), è calcolato come rapporto tra due rischi di morire (o contrarre la malattia) ed esprime l'eccesso (o il difetto) di rischio del gruppo posto al numeratore rispetto al gruppo posto al denominatore. Per esempio, se il RR di mortalità del gruppo *A* rispetto al gruppo *B* (riferimento) risulta pari a 1.58, si può concludere che i soggetti del gruppo *A* hanno un rischio di morte del 58% superiore a quello del gruppo *B*. Viceversa, se per il gruppo *C* il RR di mortalità è pari a 0.25, i soggetti di questo gruppo hanno un rischio di morte quattro volte più piccolo di quello osservato tra i soggetti di riferimento.

Negli studi osservazionali la valutazione epidemiologica deve tenere conto delle possibili disomogeneità tra esposti e non esposti per diverse caratteristiche quali età, genere e stato socio-economico, che a loro volta sono associate al rischio di malattia. Questi fattori possono agire come confondenti dell'associazione tra esposizione ed esito, è pertanto necessario effettuare un aggiustamento attraverso l'utilizzo di metodi multivariati. Questi metodi permettono di studiare le differenze tra esposti e non esposti (espresse in termini di RR) "al netto" del possibile effetto confondente della disomogenea distribuzione delle caratteristiche date.

Negli studi del progetto ERAS Lazio sono state considerate come possibili confondenti della relazione tra inquinanti emessi da discariche e inceneritori e mortalità/morbosità alcune variabili ambientali e di condizione sociale: età, periodo di calendario, livello socio-economico, inquinamento atmosferico di fondo (PM_{10}), residenza in prossimità di strade principali, autostrade e industrie.

RISULTATI

Nell'ambito del progetto ERAS, sono state ricostruite le coorti di popolazione residente in più di 20 comuni della Regione Lazio. La grande mole di dati ha consentito di mettere in evidenza differenze nella qualità degli archivi anagrafici comunali, pertanto in questo rapporto vengono riportati alcuni esempi sui controlli e le procedure che sono state effettuate prima di accettare i dati nella analisi. I comuni "virtuosi" sono stati confrontati con altri che hanno fornito dati di scarsa qualità e per i quali è stato necessario attuare diverse procedure di ottimizzazione o addirittura l'eliminazione dallo studio.

Si consideri per esempio il comune di Bracciano. Tra il 1996 ed il 2007 risultano 1,432 deceduti da fonte ReNCaM e 1,455 da fonte anagrafica (Tabella 1). Anche il confronto del numero di deceduti per singolo anno conferma che i dati forniti dall'anagrafe risultano completi, corretti e coerenti. La stessa cosa non si può affermare per il comune di Albano Laziale. Secondo i dati originariamente forniti dall'anagrafe, infatti, il numero annuale di deceduti aumentava col passare del tempo, solo dal 2005 diventava confrontabile con il dato ReNCaM. L'incompletezza dell'estrazione dati è dimostrata dal fatto che non risultava alcun decesso nel 1996, uno solo nel 1997 e 3 nel 1998.

Anche le frequenze annuali delle nascite hanno fornito indicazioni in merito alla qualità dei dati inviati dalle anagrafi. È anomalo che ci siano, nell'arco di 12 anni, dei trend troppo marcati o che ci siano delle forti variazioni da un anno all'altro. Come si può notare dalla tabella 2, la distribuzione dell'anno di nascita del comune di Roccasecca risulta decisamente più omogenea, quindi più attendibile, di quella del comune di Albano Laziale, in cui il numero di nati passava da 166 nel 1996 a 23 nel 2008.

Nei casi in cui gli uffici anagrafici non siano stati in grado di soddisfare le richieste è stato necessario ridurre il periodo in studio o eliminare il comune dalle analisi. L'anagrafe del comune di Civitavecchia ha incontrato diverse difficoltà nell'estrazione dei dati riferiti agli anni 1996-2003, gli unici dati sistematizzati ed utilizzabili sono risultati quelli dal 2004 in poi. Diverso è il caso del comune di Pontecorvo per il quale non siamo mai riusciti ad ottenere i dati anagrafici richiesti.

Alcuni comuni presentavano un'alta quota di record senza indirizzo di residenza: in alcuni casi si è cercato di recuperare il più possibile questa informazione trascrivendo gli indirizzi manualmente dai cartellini anagrafici; in altri casi, anche a causa dell'impossibilità di una collaborazione con gli uffici anagrafici, i file si sono dimostrati inutilizzabili. Nei dati del comune di Fonte Nuova, per esempio, su un totale di 43,089 residenti, per 4,615 (10.7%) non veniva riportato l'indirizzo di residenza.

Per alcuni comuni, invece, la procedura di georeferenziazione è stata determinante nella valutazione della qualità dei dati: se la proporzione di persone con indirizzo geocodificato era bassa (<85%) è stato necessario escludere il comune dall'analisi, se invece questa proporzione era più elevata (>=85%) sono state confrontate le caratteristiche (in termini di stato in vita) delle persone geocodificate e non, per non incorrere in *bias* di selezione. Per il comune di Latina (Tabella 3) la quota di persone non geocodifcate era molto bassa (1.3%) e non si evidenziavano grandi differenze nella distribuzione dello stato in vita nei due gruppi (geocodificati/non geocodificati). Al contrario, il comune di Paliano presentava un'alta quota di persone con indirizzi non geocodificati (38.4%), pertanto Paliano non è stato inserito nello studio.

La modellistica di dispersione degli inquinanti si sta affermando come strumento complementare a disposizione dell'epidemiologo nella valutazione dell'esposizione della popolazione residente nei pressi di impianti industriali. I risultati delle simulazioni condotte nell'ambito del progetto ERAS Lazio, per la stima dei modelli di dispersione degli inquinanti, mostrano aree molto eterogenee dal punto di vista dell'inquinamento ambientale.

Come si può notare dalla tabella 4, sebbene le dimensione delle discariche di Civitavecchia e Colleferro siano molto simili, la discarica di Colleferro raggiunge valori

di concentrazione di H_2S quasi sette volte più elevati rispetto a quella di Civitavecchia (0.765 µg/m^3 VS 0.113 µg/m^3). I livelli di concentrazione massimi di H_2S stimati per la discarica di Latina raggiungono il valore di 1.196 µg/m^3 mentre per la discarica di Roccasecca, la cui area è circa 24 volte più piccola, il valore più alto è di 0.314 µg/m^3. Nell'area di Malagrotta (Roma) si raggiungono le più alte concentrazioni di H_2S (2.999 µg/m^3).

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Uno studio di coorte prevede la definizione della popolazione in studio attraverso il suo arruolamento e la determinazione a priori di un periodo di osservazione durante il quale i componenti della coorte vengono seguiti nel tempo attraverso contatti ripetuti. La tecnica di cui si è trattato in questo rapporto, invece, ha previsto l'arruolamento di coorti di popolazione senza nessun contatto diretto con chi partecipa allo studio. Si utilizzano infatti i dati anagrafici di tutti i residenti in un certo comune nell'arco di diversi anni e, solo successivamente, sulla base dei dati ottenuti, viene selezionata la popolazione di interesse.

La metodologia utilizzata nel progetto ERASLazio presenta diversi punti di forza:

- rappresenta una proposta innovativa rispetto alle metodologie utilizzate fino ad oggi;
- è una tecnica poco dispendiosa in termini economici e di tempo. Non richiede un vasto impiego di forza lavoro: non è necessario aggiornare lo stato in vita della coorte effettuando visite a domicilio o interviste telefoniche perché la definizione dello stato in vita si basa sui dati forniti dalle anagrafi comunali;
- rispetto alla costruzione di una coorte con metodologia classica, si guadagna in termini di potenza statistica, in quanto, non si estrae un campione della popolazione, ma si studiano tutti i residenti nel comune. Non vi è quindi il problema della rappresentatività tipico degli studi campionari;
- non si rischia di incorrere nel *response bias* in quanto la partecipazione delle persone allo studio non dipende dal loro assenso;
- questa tecnica, associata alla georeferenziazione degli indirizzi di residenza, permette di ottenere una distribuzione spaziale dei soggetti in studio a cui si può associare la distribuzione spaziale dell'esposizione;

- l'utilizzo dei modelli di dispersione, associato a dati di popolazione georeferiti, permette di superare un grande limite degli studi di epidemiologia ambientale che per molto tempo hanno considerato esclusivamente la distanza dagli impianti come esposizione a fonti di inquinamento, ipotizzando che l'inquinante si disperdesse nell'aria in fasce concentriche dal centroide dell'impianto.
- le coorti di popolazione così costruite possono essere facilmente riutilizzate per altri studi attraverso l'attribuzione di nuove informazioni quali esposizione e variabili di confondimento.

Oltre ai tanti vantaggi, questa nuova procedura ha anche alcuni punti di debolezza:

- i rapporti con gli uffici anagrafici del Lazio non sono stati sempre semplici; spesso, a causa della mancata risposta al primo tentativo di contatto, è stato necessario ricontattarli (attraverso telefonate, e-mail e fax) o inviare un nostro tecnico per estrarre i dati dal software anagrafico. Nonostante tutti gli sforzi, i dati di alcuni comuni non sono mai arrivati;
- nonostante questa tecnica permetta un risparmio in termini economici e di tempo, è certamente complessa e laboriosa dal punto di vista della programmazione;
- alcune delle scelte prese durante le fasi di lavorazione dei dati anagrafici sono difficili, sia perché i file hanno una struttura diversa da comune a comune (pertanto non è possibile costruire un programma unico per tutti i file) sia perché, a volte, ci si è trovati a decidere sull'esclusione o l'inclusione di alcuni soggetti con informazioni dubbie;
- questa tecnica può introdurre *bias* di selezione. Si ha un *bias* di selezione nei casi in cui si ha un difetto selettivo di partecipazione che è correlato con l'esposizione e con l'esito in studio. Ciò potrebbe avvenire, per esempio, se vi fosse una proporzione molto diversa di deceduti con indirizzo non geocodificato (quindi non inclusi nello studio) rispetto al gruppo dei geocodificati.

In conclusione, la metodologia proposta rappresenta una strategia ottimale per lo sviluppo di studi di coorte utili alla valutazione del danno da esposizioni ambientali. Ovviamente, debbono essere considerate con cura le possibili distorsioni che si

possono generare in uno studio di coorte e sono necessari controlli rigorosi dei dati anagrafici acquisiti.

BIBLIOGRAFIA

1. Baker D, Nieuwenhuijsen MJ: Environmentel epidemiology: Study methods and application. *Oxford University Press* 2008.
2. Nyberg F, Gustavsson P, Järup L, Bellander T, Berglind N, Jakobsson R, Pershagen G.: Urban air pollution and lung cancer in Stockholm. *Epidemiology* 2000 Sep; 11(5):487-95.
3. Bellander T, Berglind N, Gustavsson P, Jonson T, Nyberg F, Pershagen G, Järup L.: Using geographic information systems to assess individual historical exposure to air pollution from traffic and house heating in Stockholm. *Environ Health Perspect* 2001 Jun; 109(6):633-9.
4. Dolk H, Thakrar B, Walls P, Landon M, Grundy C, Sáez Lloret I, Wilkinson P, Elliott P.: Mortality among residents near cokeworks in Great Britain. *Occup Environ Med* 1999 Jan; 56(1):34-40.
5. Dolk H, Elliott P, Shaddick G, Walls P, Thakrar B.: Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. II. All high power transmitters. *Am J Epidemiol* 1997 Jan 1;145(1):10-7.
6. Elliott P, Shaddick G, Kleinschmidt I, Jolley D, Walls P, Beresford J, Grundy C.: Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain. *Br J Cancer* 1996 Mar; 73(5):702-10.
7. Elliott P, Briggs D, Morris S, de Hoogh C, Hurt C, Jensen TK, Maitland I, Richardson S, Wakefield J, Jarup L.: Risk of adverse birth outcomes in populations living near landfill sites. *BMJ* 2001 Aug 18; 323(7309):363-8.
8. Livingstone AE, Shaddick G, Grundy C, Elliott P.: Do people living near inner city main roads have more asthma needing treatment? Case control study. *BMJ* 1996 Mar 16; 312(7032):676-7.
9. English P, Neutra R, Scalf R, Sullivan M, Waller L, Zhu L.: Examining associations between childhood asthma and traffic flow using a geographic information system. *Environ Health Perspect* 1999 Sep; 107(9):761-7.
10. Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S, Fischer P, van den Brandt PA.: Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet* 2002 Oct 19; 360(9341):1203-9.
11. EPA http://www.epa.gov/ttncatc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf.

12. Regione Emilia-Romagna. I Risultati del Progetto Moniter. Gli Effetti degli Inceneritori sull'Ambiente e la Salute in Emilia-Romagna. Quaderni di Moniter 04>11. Bologna, Novembre 2011.

Figura 1. Schema dello studio epidemiologico – ambiente e salute

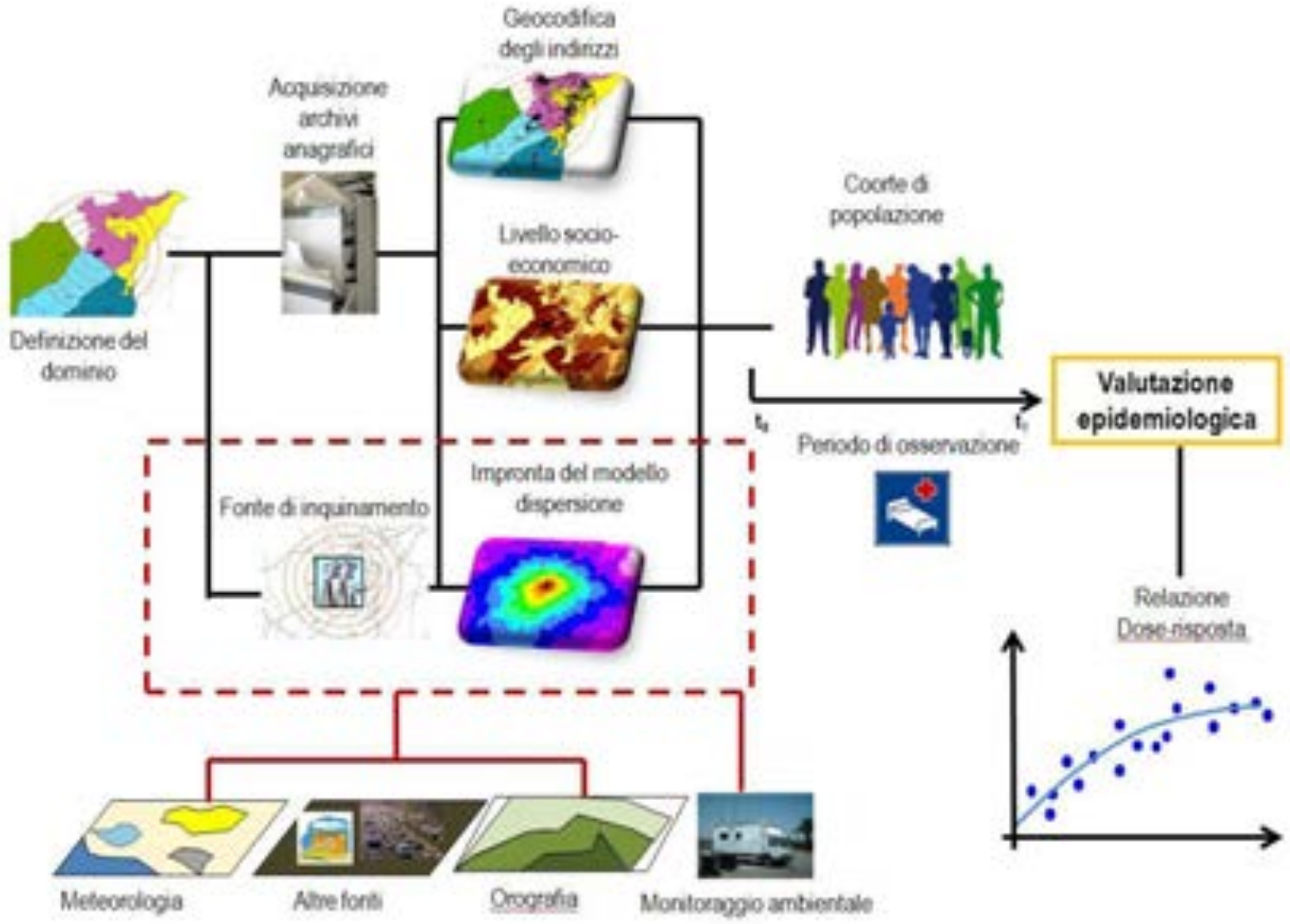


Tabella 1. Confronto tra il numero di decessi per anno da fonte anagrafica e da ReNCaM, comuni di Bracciano e di Albano Laziale

Anno	Bracciano		Albano Laziale	
	ReNCaM	Anagrafe	ReNCaM	Anagrafe
1996	115	91	273	0
1997	101	103	229	1
1998	115	111	288	3
1999	105	116	283	110
2000	133	145	271	195
2001	129	137	282	191
2002	107	101	290	212
2003	109	134	272	204
2004	116	116	302	269
2005	147	146	340	336
2006	138	137	323	336
2007	117	118	321	332
Totale	1,432	1,455	3,474	2,189

Tabella 2. Confronto tra le distribuzioni di frequenza dei nati per anno, comuni di Albano Laziale e Roccasecca

Anno	Albano Laziale	Roccasecca
1996	166	83
1997	150	80
1998	114	68
1999	149	75
2000	142	76
2001	132	78
2002	143	70
2003	130	54
2004	106	72
2005	96	58
2006	80	65
2007	46	61
2008	23	58

Tabella 3. Valutazione dello stato in vita dei residenti alla fine del *follow-up* per esito della procedura di geocodifica, comuni di Latina e Paliano

		Latina		Paliano	
		n	%	n	%
Totale residenti dal 1/1/1996 al 31/12/2207		123,714	100.0	9,957	100.0
Residenti geocodificati		122,050	98.7	6,137	61.6
	vivi e residenti Al 31/12/2007	102,617	84.1	4,935	80.4
	emigrati	9,699	7.9	516	8.4
	deceduti	9,734	8.0	686	11.2
Residenti non geocodificati		1,664	0.3	3,820	38.4
	vivi e residenti Al 31/12/2007	1,512	90.9	2,457	64.3
	emigrati	42	2.5	1,094	28.6
	deceduti	110	6.6	269	7.0

Tabella 4. Perimetro e superficie delle discariche del Lazio e livelli di concentrazione massima di H_2S

Discarica	Perimetro (m)	Area (m^2)	Concentrazione Massima di H2S µg/m^3
Albano Laziale	3,368	512,716	0.23428
Bracciano	1,975	151,804	0.31118
Civitavecchia	1,029	71,797	0.11378
Colleferro	1,384	82,673	0.76516
Guidonia Montecelio	1,978	231,396	0.35908
Latina	4,072	978,594	1.19660
Roccasecca	760	40,057	0.31497
Roma	6,320	1,791,195	2.99920
Viterbo	2,196	220,952	1.17740

VALUTAZIONE EPIDEMIOLOGICA DELLO STATO DI SALUTE DELLA POPOLAZIONE RESIDENTE NEI PRESSI DELLE DISCARICHE PER I RIFIUTI URBANI DEL LAZIO

RIASSUNTO

INTRODUZIONE. 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 dei rifiuti non sono ancora esaustive. 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.

METODI. 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 2008 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 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 H_2S) e mortalità/morbosità 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.

RISULTATI. La coorte è composta da 242,409 residenti entro 5 Km dalle discariche, dei quali 5,187 (2%) abitavano entro 1 Km dal perimetro di una discarica e 21,475 entro 1-2 Km. Il 47.1% dei residenti entro 1 km era di basso livello socio-economico mentre tale percentuale era più bassa (24%) nel gruppo di riferimento (3-5 Km).

I confronti di mortalità interni alla coorte per valutare l'effetto distanza e concentrazione di H_2S non hanno mostrato variazioni di rilievo se si fa eccezione di soli indizi emersi per il tumore del colon retto e dell'apparato urinario negli uomini e il tumore della vescica nelle donne. Effetti più marcati sono stati riscontrati per i ricoveri con, per gli uomini, livelli di ospedalizzazione più elevati per malattie del sistema circolatorio, malattie del sistema respiratorio e tumore della vescica. Per le donne si sono osservati livelli ospedalizzazione più elevati per tumore del pancreas, malattie del sistema circolatorio, malattie polmonari cronico ostruttive e malattie dell'apparato urinario.

CONCLUSIONI. Lo studio di coloro che risiedono nei 5 Km dagli impianti di discarica del Lazio ha evidenziato un quadro di mortalità e morbosità relativamente sovrapponibile a quello regionale. Dalla analisi interna alla coorte, tuttavia, sono emerse diverse associazioni con la distanza o la concentrazione stimata di H_2S non sempre univoche e consistenti. Tra queste, 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) ha implicazioni ecologiche, sanitarie, economiche e sociali. 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 messo in evidenza 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. E' stato osservato un eccesso di rischio tra gli uomini residenti vicino alla discarica per linfoma 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 di prodotti petrolchimici 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]

Obiettivo di questo studio è quello di verificare l'associazione tra la residenza in prossimità delle discariche per lo smaltimento dei RU presenti nel Lazio e lo stato di salute della popolazione, sia in termini di mortalità che di ricorso alle cure ospedaliere.

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*, e il computo dei tassi di occorrenza di malattia e di mortalità. 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. Le caratteristiche di esposizione considerate sono state: 1. la distanza dal perimetro di ogni impianto 2. la stima della esposizione individuale a idrogeno solforato (o acido solfidrico- H_2S), un gas emesso dai rifiuti in discarica, stimato da un modello di dispersione.

METODI

Caratteristiche delle discariche

Nel Lazio sono attualmente 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.

Tutte le discariche sono attive da numerosi anni, e di seguito sono indicate le particolari caratteristiche. L'anno ufficiale di inizio attività è stato spesso preceduto da diversi anni in cui le operazioni di discarica venivano effettuate in attesa di autorizzazione. Iin particolare la discarica di Albano Laziale (RM), situata nella località di Roncigliano, è in funzione dagli inizi degli anni ottanta; la discarica di Bracciano (RM), situata a Cupinoro, è classificata come discarica per rifiuti non pericolosi ed inizia la propria attività a partire dal maggio 2007; la discarica di Civitavecchia (RM) è situata a Fosso Crepacuore e 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; la discarica di Guidonia Montecelio (RM) è in esercizio a partire dall'anno 1991; la discarica di Latina, situata a Borgo, suddivisa in due lotti, è in esercizio a partire da agosto 1990; la discarica di Cerreto (FR), nel comune di Roccasecca è entrata in esercizio a partire dal novembre 2002; 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 complesso impiantistico di Malagrotta, situato nel comune di Roma, è costituito da un impianto di discarica per rifiuti non pericolosi al quale sono collegati impianti per il Trattamento Meccanico Biologico dei rifiuti. La discarica di Malagrotta inizia la propria attività a partire dal 1987.

Area in studio

L'area in studio ha compreso i comuni che rientrano in un raggio di 5 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 con due modalità, considerando:

- la distanza dal perimetro delle discariche, costruita utilizzando il software ArcGIS, che ha permesso di definire 5 cerchi di raggio 1 Km, intorno al perimetro delle discariche, fino a definire l'area di interesse (0-5 Km);
- 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.[10]) 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 informazione relative alle date di apertura e chiusura di ciascun settore della discarica, la capacità di contenimento del rifiuto (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.

L'uso combinato della distanza geografica e delle concentrazioni stimate fornisce un quadro più completo dell'impatto delle discariche sull'ambiente e sull'uomo. Le concentrazioni di H_2S emesso dai rifiuti definiscono l'inquinamento della matrice aria mentre la distanza può essere considerata un indicatore dell'inquinamento delle matrici acqua e suolo sotto l'ipotesi che la contaminazione avvenga maggiormente nella zona limitrofa alla 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. Ha 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), la coorte di Roma che è composta dai soggetti censiti all'ottobre 2001 e residenti da almeno cinque anni allo stesso indirizzo e le coorti di Albano Laziale e Latina per le quali il *follow-up* finisce al 31 Dicembre del 2007.

Poiché, ad oggi, non esiste un sistema informativo geografico che unisca in un unico archivio la popolazione residente nel Lazio con informazioni sulla residenza già georeferenziate, è stata predisposta una metodologia innovativa per la definizione della coorte e il relativo *follow-up*. La metodologia viene di seguito descritta.

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 5 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 2008. I soggetti emigrati dal comune di residenza in altro comune sono stati considerati vivi fino al momento della emigrazione, e il *follow-up* è dunque cessato al momento della migrazione. L'attribuzione delle informazioni sanitarie (mortalità e ricorso alle cure ospedaliere) 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.

Le analisi di mortalità e ospedalizzazione sono state effettuate con modalità diverse: per la mortalità è stata considerata una latenza di 5 anni; la coorte in studio è quindi composta dai soggetti residenti al 1 Gennaio 1996 o successivamente entrati nell'area fino al 31 Dicembre 2003, assumendo che sia necessaria un'esposizione di almeno 5 anni per osservare effetti sulla mortalità imputabili a tale esposizione. Questa ipotesi non è invece stata fatta per l'analisi delle ospedalizzazioni; la coorte in studio è composta infatti dai soggetti residenti al 1 Gennaio 1996 e successivamente entrati nell'area fino al 31 Dicembre 2008.

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 (distanza o concentrazione di H_2S) 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-referenziazione 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 e ospedalizzazioni).

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).[11] Questa 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_{10} come misura della qualità dell'aria nella zona di residenza. Le concentrazioni di PM_{10} 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_{10} 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

Per la valutazione dello stato di salute della coorte in studio è stata effettuata un'analisi della mortalità (per l'intero periodo di *follow-up*) e della storia delle

ospedalizzazioni (per il periodo 2004-2008) di tutti i residenti entro 5 Km dai siti, confrontandola con quella dei residenti nel Lazio nello stesso periodo. Questa analisi è stata effettuata per confrontare l'intera coorte con il resto della regione e rappresenta una valida premessa alla analisi successiva che considera la distanza dalle discariche e il livello di concentrazione di H_2S alla residenza delle persone in studio.

Sono stati calcolati rapporti standardizzati di mortalità e ospedalizzazione (SMR, SHR) aggiustati per età (metodo indiretto) specifici per causa e genere. Il denominatore per il calcolo dei casi attesi è rappresentato dagli anni persona della coorte. Il numero di decessi o ricoveri osservato è stato rapportato al numero di decessi o ricoveri attesi sulla base della popolazione di riferimento della regione Lazio. Sono stati calcolati gli intervalli di confidenza al 95% dei rapporti standardizzati. Questi tassi indicano il rapporto tra i decessi o ricoveri osservati nella popolazione residente nell'area in esame e i decessi o ricoveri attesi, ottenuti applicando alla popolazione residente i tassi specifici di mortalità del Lazio. Se la mortalità o l'ospedalizzazione dell'area in studio per una data causa non differisce da quella di confronto (cioè gli eventi osservati sono pari agli eventi attesi), il corrispondente SMR o SHR sarà pari a 1.0; valori di SMR o SHR sopra 1.0 indicano un aumento della mortalità o dell'ospedalizzazione rispetto all'atteso, mentre valori sotto 1.0 indicano un decremento. 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 tasso (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 dell'SMR o SHR 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 SMR=1.0), significa che con una probabilità del 95% l'SMR indica un eccesso (o un difetto) di mortalità.

Successivamente è stata valutata l'associazione tra la residenza nei pressi delle discariche e la mortalità e le ospedalizzazioni della coorte. Come detto in

precedenza, sono state considerate due diverse variabili di esposizione una basata sulla distanza dalla discarica, l'altra basata sulle concentrazioni di H_2S ottenute dal modello:

- Distanza: i soggetti della coorte, residenti entro 5 Km, sono stati suddivisi in diverse fasce di esposizione caratterizzate da una distanza crescente dal perimetro delle discariche (residenti entro il raggio di 1 Km, tra 1 Km e 2 Km e tra 2 Km e 3 Km, tra 3 Km e 4 Km, tra 4 Km e 5 km).
    - Una prima analisi ha confrontato i rischi di mortalità e ospedalizzazione dei *gruppi degli esposti* (i residenti nelle fasce 0-1 Km, 1-2 Km e 2-3 Km) con quella del *gruppo di riferimento* (residenti nella fascia distante 3-5 km).
    - Un'analisi successiva ha considerato la distanza (da 0 a 5 Km) come variabile continua (test per il trend), in modo da valutare se al diminuire della distanza (per ogni Km) dalle discariche aumentasse il rischio di mortalità o ricovero.
- Concentrazione di H_2S: i soggetti della coorte, residenti entro 5 Km, sono stati classificati sulla base della distribuzione percentile della concentrazione di H_2S registrata al loro indirizzo di residenza.
    - In una prima analisi sono stati confrontati i rischi di mortalità e ricovero della coorte con un valore di H_2S superiore al 90° percentile con quelli della popolazione caratterizzata da concentrazioni di H_2S più basse (inferiori al 50° percentile).
    - Successivamente anche la variabile relativa alle concentrazioni di H_2S è stata considerata come continua. È stato valutato l'aumento del rischio di mortalità all'aumentare di 0.030 $\mu g/m^3$ dell'H_2S o di ricovero all'aumentare di 0.022 $\mu g/m^3$ dell' H_2S (differenza tra il 95° e il 5° percentile della distribuzione).

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 tre periodi di calendario, (1996-2000, 2001-2004, 2005-2008) per tenere conto del trend temporale della mortalità o delle ospedalizzazioni, e per discarica, al fine di tenere conto delle diverse realtà territoriali delle zone in studio. È stato inoltre analizzato il ricorso ai ricoveri ospedalieri dei bambini (età inferiore ai 14 anni). L'interpretazione degli Hazard Ratio (valori superiori od inferiori ad 1.0) e dei rispettivi intervalli di confidenza è simile a quanto descritto per l'SMR.

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 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 la coorte totale dei residenti per distanza dalle nove discariche (residenti entro il raggio di 1 Km, tra 1 Km e 2 Km, tra 2 Km e 3 Km, tra 3 Km e 5 Km), per sesso, età all'inizio del *follow-up*, livello socio-economico, discarica, livello di PM_{10} all'indirizzo di residenza (<50° percentile, 50°-90° percentile e >90°percentile), residenza vicino a strade principali, autostrade e industrie.

La coorte dei residenti entro 5 Km dalle discariche per RU del Lazio è composta da 242,409 persone, delle quali 5,187 residenti entro 1 Km dal perimetro delle discariche, 21,475 tra 1 e 2 Km e 65,386 tra i 2 e i 3 Km. La distribuzione per età della popolazione mostra un leggero aumento della quota dei residenti di età maggiore di 65 anni tra i residenti nelle fasce di distanza più lontane alle discariche (6.7% a 0-1 Km, 8.7% a 3-5 km). Si osserva un netto gradiente di livello socio-economico: le persone che abitano nelle immediate vicinanze di una discarica sono soprattutto di livello socio-economico medio-basso e basso (28.1% e 47.3%) mentre, nel gruppo di riferimento, la popolazione si distribuisce quasi uniformemente su tutti i livelli. La coorte residente entro 1 Km dal perimetro delle discariche è composta soprattutto dai residenti intorno alle discariche di Roma e Albano Laziale. La popolazione esposta ad alte concentrazioni di PM_{10} si trova nelle zone più distanti dalle discariche (14.8% nella fascia 3-5 Km). La stessa cosa si può dire per le autostrade, le strade principali e le industrie, quindi entro 2 Km dalle discariche vi è una minore presenza di altre fonti di inquinamento rispetto alla fascia di riferimento.

La tabella 2 mostra le caratteristiche della coorte in studio per classe di esposizione a H_2S (<50°percentile, 50°90° percentile e >90° 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 distribuzione per età della popolazione mostra una quota simile di residenti di età maggiore di 65 anni tra le tre categorie di concentrazione di H_2S. Le persone che risiedono in zone con una concentrazione di H_2S tra il 50° e il 90° percentile si distribuiscono quasi uniformemente per livello socio-economico, mentre si osserva una quota elevata di persone con un basso livello socio-economico sia tra i meno esposti ad H_2S che tra i più esposti (31.2% e 28.3% rispettivamente). Le persone che presentano livelli elevati di concentrazione di H_2S risiedono soprattutto in prossimità delle discariche di Albano Laziale, Latina, Guidonia, Roma e Colleferro. Tra le persone con bassi livelli di concentrazione di H_2S (<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 estesa tra le discariche in studio e la loro impronta sul territorio circostante mostrano livelli di concentrazione di H_2S più elevati.

Il 60.9% della popolazione esposta a concentrazioni di H_2S inferiori al 50° percentile della distribuzione risiede in zone caratterizzate anche da bassi livelli di PM_{10} atmosferico, mentre il 17.7% della coorte, che risiede in zone con le più alte concentrazioni di H_2S, è caratterizzata anche da più alti livelli di PM_{10}. Quasi il 34% della coorte maggiormente esposta ad H_2S risiede entro 150 m dalle strade principali e quasi il 9% vicino ad autostrade. Infine il 7.2% degli esposti ad H_2S risiede entro 1 Km dalle principali industrie della regione rispetto al 2.5% del gruppo dei meno esposti.

Vengono di seguito illustrati i risultati della analisi di mortalità e delle persone ricoverate; sia per la mortalità che per la morbosità, i risultati verranno presentati in termini di confronto della intera popolazione che vive nei cinque km dagli impianti con la popolazione regionale, confronto interno per distanza e confronto interno per livelli di esposizione ad H_2S.

Analisi della mortalità: confronto con la popolazione regionale

Nella tabella 3 si riportano i risultati dell'analisi della mortalità (SMR, IC 95%) per causa, separatamente per i 120.232 uomini e le 122.177 donne della coorte, prendendo come riferimento i tassi di mortalità dei residenti nella regione Lazio nello stesso periodo.

<u>Uomini</u>

La mortalità per cause naturali (tutte le cause eccetto i traumatismi) è di poco superiore (+3%) a quanto riscontrato nella popolazione maschile del Lazio nello stesso periodo (SMR=1.03, IC95%=1.00-1.05); si osserva inoltre un eccesso di mortalità pari a circa il 20% sia per malattie dell'apparato respiratorio che per malattie polmonari croniche (BPCO) (SMR=1.20, IC95%=1.09-1.325; SMR=1.23, IC95%=1.08-1.38).

L'analisi per cause tumorali mostra una mortalità di poco superiore all'atteso (+3%), con aumenti più marcati, rispetto al riferimento, per tumore della pleura (SMR=1.93) e mieloma multiplo (SMR=1.39). Si riscontra, invece, una mortalità inferiore a quella osservata a livello regionale per malattie cardiovascolari e per

morbo di Parkinson (SMR=0.95, IC95%=0.91-0.99; SMR=0.82, IC95%=0.67-0.99, rispettivamente).

Donne

La mortalità per cause naturali non si discosta da quella osservata nella popolazione femminile della regione Lazio nello stesso periodo (SMR=0.97, IC95%=0.94-1.00), mentre la mortalità per tumore risulta inferiore a quella della popolazione di riferimento nello stesso periodo (SMR=0.90, IC95%=0.85-0.95). In particolare, si osserva una riduzione del rischio di mortalità per tumore della trachea, dei bronchi e del polmone (SMR=0.77), per tumori del tessuto linfatico ed ematopoietico (SMR=0.73) e mieloma (SMR=0.57). Si riscontra, inoltre, una minore mortalità anche per le malattie dell'apparato digerente (SMR=0.86).

Analisi della mortalità: confronto interno per distanza

Nella tabella 4 – a)Uomini; b)Donne – si mostrano i risultati dell'analisi della mortalità in cui viene considerata come esposizione la distanza in km dalle discariche. Le tabelle riportano i risultati ottenuti considerando la distanza come variabile categorica (0-1, 1-2 2-3 Km), e gli Hazard Ratios dell'aumento del rischio al diminuire della distanza dalla discarica (Trend lineare per 1 Km). Vengono illustrati, separatamente per gli uomini (a) e per le donne (b), il numero di decessi osservati, gli Hazard Ratio (HR) e i rispettivi intervalli di confidenza (IC al 95%) al variare della distanza.

Uomini

A parità di età, condizione socio-economica ed livelli di inquinamento del luogo di residenza (ottenuti considerando le informazioni relative al PM_{10} e alla vicinanza della residenza del soggetto da autostrade, strade principali e industrie), il gruppo dei residenti nelle vicinanze delle discariche (0-1 Km e 1-2 Km) presenta una mortalità generale e specifica per causa simile a quella della popolazione di riferimento (residenti nella fascia 3-5 Km). Si è osservato però un eccesso di mortalità per tumore del colon retto tra gli uomini residenti nella fascia 1-2 Km (HR=1.72, IC95%=1.06-2.79), ma tale aumento non è omogeneo tra gli impianti ma sostenuto dagli abitanti in prossimità della discarica di Civitavecchia. Infine, l'analisi del trend per distanza evidenzia che avvicinandosi alla discarica vi è un

aumento di rischio di mortalità per malattie dall'apparato urinario (HR=1.25, IC95%=1.02-1.54).

Donne

Anche nelle donne, a parità di età, condizione socio-economica ed livelli di inquinamento del luogo di residenza si osserva che il gruppo delle residenti nelle vicinanze delle discariche (0-1 Km e 1-2 Km) ha una mortalità generale e specifica per causa simile a quella della popolazione di riferimento (residenti nella fascia 3-5 km Km Si osserva, tuttavia, un eccesso di rischio di mortalità per tumore della vescica tra le donne residenti nella fascia 1-2 Km (HR=4.79, IC95%=1.03-22.34, eccesso basato su soli 3 casi) e tra quelle residenti tra 2 e 3 Km (HR=4.85, IC95%=1.52-15.42, eccesso basato su 9 casi); per questa patologia si osserva un chiaro aumento del rischio legato alla distanza. Si segnala, tuttavia, che tra le donne residenti nelle immediate vicinanze dalla discarica non si è osservato nel periodo in studio alcun decesso per questa patologia.

Analisi della mortalità: confronto interno per livelli di esposizione a H_2S

Nella tabella 5 – a)Uomini; b)Donne – si mostrano l'associazione tra i livelli di concentrazione di H_2S e la mortalità della coorte. Sono riportati sia i risultati ottenuti considerando la concentrazione di H_2S come variabile categorica (livelli di concentrazione superiori al 90° percentile della distribuzione vs livelli inferiori al 50° percentile) sia l'aumento di rischio di mortalità per un aumento lineare pari a 0.030 mg/m^3 di H_2S (differenza tra il 95° e il 5° percentile).

Uomini

I residenti esposti ad alte concentrazioni di H_2S non mostrano eccessi di mortalità per cause naturali rispetto ai residenti in aree caratterizzate da una concentrazione di H_2S inferiore al 50° percentile della distribuzione. Al contrario, si osserva un rischio di mortalità inferiore all'atteso per malattie ischemiche del cuore (HR=0.67, IC95%=0.47-0.96). Anche l'analisi che considera la concentrazione di H_2S come variabile continua non riporta nessun eccesso di rischio (HR=0.94, IC95%=0.89-1.00 per le cause di morte naturale).

Donne

Le donne esposte ad alte concentrazioni di H_2S mostrano un eccesso di mortalità per cause naturali, tale eccesso, tuttavia non raggiunge la significatività statistica (HR=1.14, IC95%=0.98-1.32). L'analisi del rischio di mortalità causa-specifico evidenzia un eccesso per il tumore della vescica basato su un numero esiguo di casi (tre). L'analisi volta a valutare l'aumento del rischio di mortalità all'aumento lineare di concentrazione di H_2S non ha evidenziato particolari associazioni sia per cause naturali sia per specifiche causa di morte.

Analisi delle persone ricoverate: confronto con la popolazione regionale

Nella tabella 6 si riportano i risultati dell'analisi delle persone ospedalizzate (SHR) per causa, separatamente per uomini e donne appartenenti alla coorte dei residenti entro 5 Km, nel periodo 2004-2008. Sono stati presi come riferimento i tassi di ospedalizzazione della popolazione residente nel Lazio nello stesso periodo.

Uomini

La frequenza di uomini con un ricovero ospedaliero per cause naturali nella coorte è superiore rispetto a quella della popolazione di riferimento regionale nello stesso periodo (SHR=1.04, IC95%=1.03-1.06). Si osservano tassi di persone ospedalizzate più bassi per tumori maligni (SHR=0.90, IC95%=0.87-0.94), in particolare per tumori del colon retto e del pancreas (SHR=0.83 e SHR=0.74, rispettivamente). Anche le ospedalizzazioni per malattie del sistema circolatorio risultano in difetto rispetto ai livelli regionali (SHR=0.92, IC95%=0.89-0.94), nello specifico per malattie cardiache, ischemiche del cuore e cerebrovascolari (SHR=0.87, SHR=0.79 e SHR=0.91, rispettivamente). Sono tuttavia in eccesso rispetto al riferimento le ospedalizzazioni per malattie polmonari cronico ostruttive (SHR=1.23, IC95%=1.13-1.34). Si osserva infine che la frequenza di ricoveri ospedalieri nella coorte per malattie dell'apparato digerente risulta in difetto rispetto ai tassi regionali (SHR=0.88, IC95%=0.85-0.91).

Donne

Anche le donne residenti entro 5 Km dal perimetro delle discariche presentano dei tassi di ospedalizzazione superiori a quelli regionali per tutte le cause naturali (SHR=1.03, IC95%=1.02-1.05). Calcolando gli SHR per causa specifica, si

osservano frequenze di ricoveri per tutti i tumori maligni inferiori rispetto a quelle regionali (SHR=0.90, IC95%=0.87-0.94) e, nello specifico, per tumori della vescica e del tessuto linfatico ed ematopoietico (SHR=0.75 e SHR=0.69, rispettivamente). Si segnala inoltre un minor ricorso alle cure ospedaliere per le malattie dell'apparato respiratorio (SHR=0.92, IC95%=0.88-0.95) e per il grande gruppo delle malattie del sistema circolatorio (SHR=0.87, IC95%=0.84-0.90), più specificatamente malattie cardiovascolari, ischemiche del cuore e cerebrovascolari (SHR=0.87, SHR=0.85 e SHR=0.81, rispettivamente). Anche la frequenza di ricoveri ospedalieri per malattie dell'apparato digerente risulta in difetto rispetto ai tassi regionali (SHR=0.91, IC95%=0.88-0.94).

Analisi delle persone ricoverate: confronto interno per distanza

Nella tabella 7 – a)Uomini; b)Donne – si mostrano i rischi relativi di ospedalizzazione della coorte totale e del sottogruppo dei bambini (età compresa tra 0 e 14 anni), ottenuti dal modello di Cox in cui la distanza dal perimetro delle discariche rappresenta l'esposizione. La tabella riporta i risultati ottenuti considerando la distanza come variabile categorica (0-1, 1-2, 2-3 Km) ovvero come variabile continua.

<u>Uomini</u>

Gli uomini residenti entro 1 Km dalle discariche mostrano un rischio di ospedalizzazione per cause naturali che non differisce da quello degli uomini residenti nell'area 3-5 Km, ad eccezione di un aumentato ricorso alle cure ospedaliere per malattie cerebrovascolari (HR=1.31, IC95%=1.00-1.73).

Gli uomini residenti nella fascia 1-2 km si sono ricoverati, nel periodo in studio, in misura maggiore rispetto al riferimento, soprattutto per malattie del sistema circolatorio (HR=1.12, IC95%=1.05-1.21), in particolare malattie cardiache (HR=1.14, IC95%=1.04-1.25), malattie cerebrovascolari (HR=1.14, IC95%=1.05-1.24). L'analisi del trend conferma tale eccesso di rischio. Gli eccessi osservati si riscontrano principalmente tra i residenti in prossimità degli impianti di Civitavecchia e di Albano Laziale.

L'analisi dei ricoveri dei bambini mostra un eccesso di ospedalizzazione generale (+13%), soprattutto per malattie dell'apparato respiratorio (+16%), se si

confrontano i bambini residenti nelle immediate vicinanze dalle discariche (0-1 Km) con quelli delle fasce più distanti (3-5). Gli eccessi osservati si riscontrano principalmente tra i bambini residenti a Civitavecchia, Albano Laziale e Guidonia.

Donne

Le donne residenti nelle immediate vicinanze delle discariche (0-1 Km) non mostrano eccessi di ospedalizzazione rispetto alla popolazione di riferimento. L'analisi delle ospedalizzazioni causa-specifica, mostra eccessi di ricovero per tumore del pancreas (basato su 5 casi), malattie cardiache e malattie polmonari cronico ostruttive, quest'ultimo eccesso si osserva principalmente tra le donne residenti a Latina.

Le donne residenti nella fascia 1-2 Km dalle discariche mostrano un aumentato ricorso alle cure ospedaliere rispetto al riferimento (+5%). Dall'analisi specifica per diagnosi principale di ricovero risulta un eccesso per malattie cerebrovascolari (HR=1.18, IC95%=1.00-1.40). Tra le bambine si osserva in generale un aumentato ricorso alle cure ospedaliere associato con la vicinanza alle discariche (*p* del trend <0.05).

Analisi delle persone ricoverate: confronto interno per livelli di esposizione a H_2S

Nella tabella 8 – a)Uomini; b)Donne – si riportano i risultati dell'analisi dei ricoveri per concentrazione di H_2S.

Uomini

I rischi di ospedalizzazione generale della popolazione maschile esposta a più alti livelli di H_2S (>90° percentile) non differiscono da quelli della popolazione non esposta (HR=1.01, IC95%=0.96-1.06). Si riscontrano però eccessi per tumore della vescica e infezione delle vie respiratorie (HR=1.59, IC95%=1.09-2.32; HR=1.26, IC95%=1.06-1.50 rispettivamente). Gli uomini residenti in aree con alte concentrazioni di H_2S hanno un rischio di ospedalizzazione inferiore al gruppo di riferimento per tumore del fegato (HR=0.26, IC95%=0.07-0.96) e tumore della trachea, bronchi e polmoni (HR=0.63, IC95%=0.42-0.94). L'analisi del trend lineare per esposizione a H_2S non mostra alcuna associazione tra l'esposizione in studio e il ricorso ai ricoveri ospedalieri.

I bambini (0-14 anni) maggiormente esposti ad H_2S presentano un rischio maggiore di ricovero per infezioni delle vie respiratorie (HR=1.31, IC95%=1.03-1.67).

Donne

Le donne che risiedono in zone con alta concentrazione di H_2S hanno un rischio maggiore (+5%) di ricoverarsi rispetto al riferimento (HR=1.05, IC95%=1.00-1.10). Questo maggior rischio è dovuto in particolare all'asma e alle malattie dell'apparato urinario (HR=1.62, IC95%=1.12-2.34; HR=1.27, IC95%=1.03-1.57 rispettivamente). I risultati dell'analisi che valuta l'aumento di rischio di ospedalizzazione all'aumentare lineare dell' H_2S mostrano un lieve eccesso di ricoveri per malattie del sistema circolatorio (HR=1.01, IC95%=1.00-1.03).

Gran parte dell'eccesso registrato per le cause naturali e l'asma è dovuto ad un maggior ricorso ai ricoveri delle bambine esposte alle più alte concentrazioni di inquinante (HR=1.17, IC95%=1.03-1.31; HR=1.79, IC95%=1.14-2.83 rispettivamente).

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Lo studio ha considerato tutta la popolazione che nel Lazio risiede entro 5 Km dalle discariche per rifiuti urbani; per queste persone si è evidenziato un quadro di mortalità e morbosità relativamente sovrapponibile a quello regionale, con le sole eccezioni nei maschi delle malattie dell'apparato respiratorio (compresa la broncopneumopatia cronica ostruttiva, BPCO), i tumori della pleura e il mieloma multiplo.

L'analisi interna alla coorte è stata effettuata considerando come indicatori di esposizione alle discariche sia la distanza in Km tra queste e la residenza di ciascun individuo della coorte, sia le concentrazioni di idrogeno solforato (H_2S) calcolato mediante simulazione modellistica e attribuite alla residenza degli individui della coorte. L'ipotesi che si voleva verificare era che risiedere vicino ad una discarica, o risiedere in aree caratterizzate da alte concentrazioni di idrogeno

solforato proveniente dalle discariche, costituisse un fattore di rischio per la salute (mortalità/ricoveri ospedalieri) dei residenti.

L'analisi di mortalità basata sui confronti interni (residenti vicino ad una discarica/esposti a concentrazioni elevate vs residenti lontano/esposti a concentrazioni più basse) non ha fornito particolari evidenze, ad eccezione di una più elevata mortalità tra le donne per tumore della vescica e tra gli uomini per patologie a carico dell'apparato urinario; questi eccessi si sono osservati in maniera omogenea tra i diversi siti. Per quanto riguarda i ricoveri ospedalieri sono stati osservati aumenti per malattie cardiovascolari e respiratorie. L'eccesso di ospedalizzazioni per malattie dell'apparato respiratorio è coerente sia considerando come esposizione la distanza che il livello di concentrazione di H_2S. Questi eccessi, tuttavia non si sono osservati in modo omogeneo tra i residenti di tutte le aree, essendo più colpiti i residenti di Civitavecchia, di Albano Laziale e di Guidonia Montecelio. La prima area è una delle più critiche dal punto di vista ambientale nella regione per la presenza delle centrali termoelettriche, del porto e, in passato, di un cementificio. Albano e Guidonia hanno diverse criticità legate soprattutto all'inquinamento originato dal traffico stradale e alla presenza di industrie a potenziale impatto ambientale. Più importante, dal punto di vista di sanità pubblica, è l'eccesso di ospedalizzazioni per patologie dell'apparato respiratorio (in particolare asma e infezioni acute delle vie respiratorie), tra i bambini e soprattutto le bambine residenti nelle immediate vicinanze dalle discariche.

Il quadro di salute dei residenti in prossimità delle discariche, con problematiche principalmente a carico dell'apparato respiratorio, depone quindi per un effetto nocivo potenzialmente attribuibile ad emissioni di sostanze irritati, come l'acido solfidrico, batteri o endotossine. L'effetto si osserva al netto di altri fattori che possano aver compromesso la qualità dell'aria nei pressi delle discariche , come gli inquinanti generati da traffico veicolare o da altri siti industriali presenti nello stesso territorio. La letteratura recente[12,13], 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_2S) 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_2S 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 avrebbero potuto distorcere le 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. In futuro potranno essere usati altri strumenti informativi (prescrizioni farmaceutiche, prestazioni di pronto soccorso) per poter meglio valutare lo stato di salute della popolazione;
- 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; la distanza può essere utilizzata perché di facile comprensione ed utile per l'individuazione della popolazione in studio, invece l'H_2S 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 ed è dunque ragionevole pensare che l'aggiustamento effettuato per indicatore socioeconomico (un potente fattore di rischio) abbia anche aggiustato per le variabili individuali non misurate.

Lo studio di coloro che risiedono nei cinque km dagli impianti di discarica del Lazio ha evidenziato un quadro di mortalità e morbosità relativamente sovrapponibile a quello regionale. Dalla analisi interna alla coorte sono emerse diverse associazioni con la distanza o la concentrazione stimata di H_2S non sempre univoche e consistenti. L'aumento della morbosità per malattie respiratorie ed asma osservato sia negli adulti sia nei bambini è coerente con le indicazioni della

letteratura scientifica e può avere un nesso di causalità con le esposizioni ambientali

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. EPA http://www.epa.gov/ttncatc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf.
11. 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).
12. 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.
13. 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.

Figura 1. Localizzazione delle discariche in studio, perimetri delle discariche, buffer di 5 Km dal perimetro e livelli di PM_{10} ($\mu g/m^3$) di qualità dell'aria

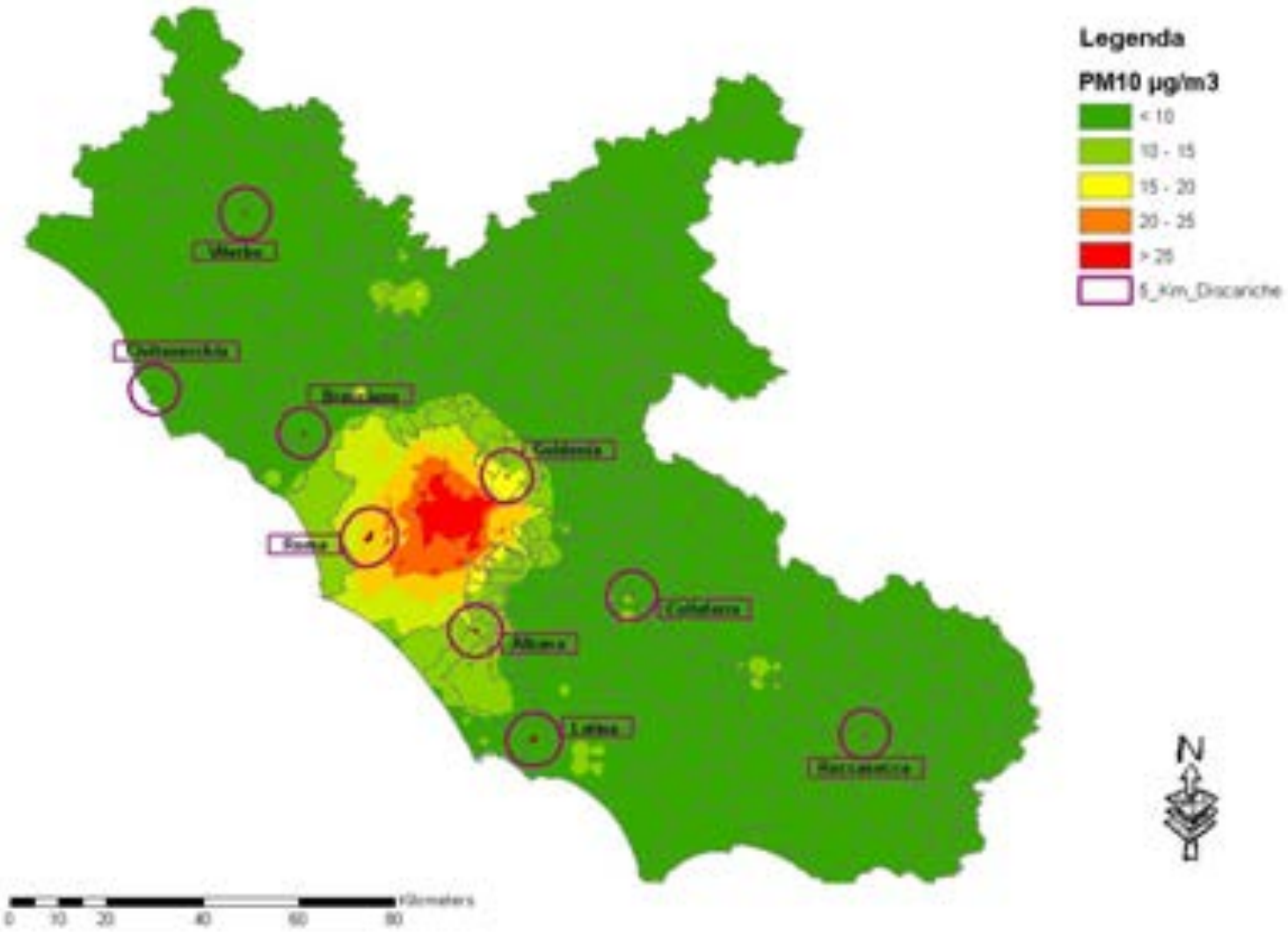


Figura 2. Discarica di Albano Laziale. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H_2S (µg/m^3)

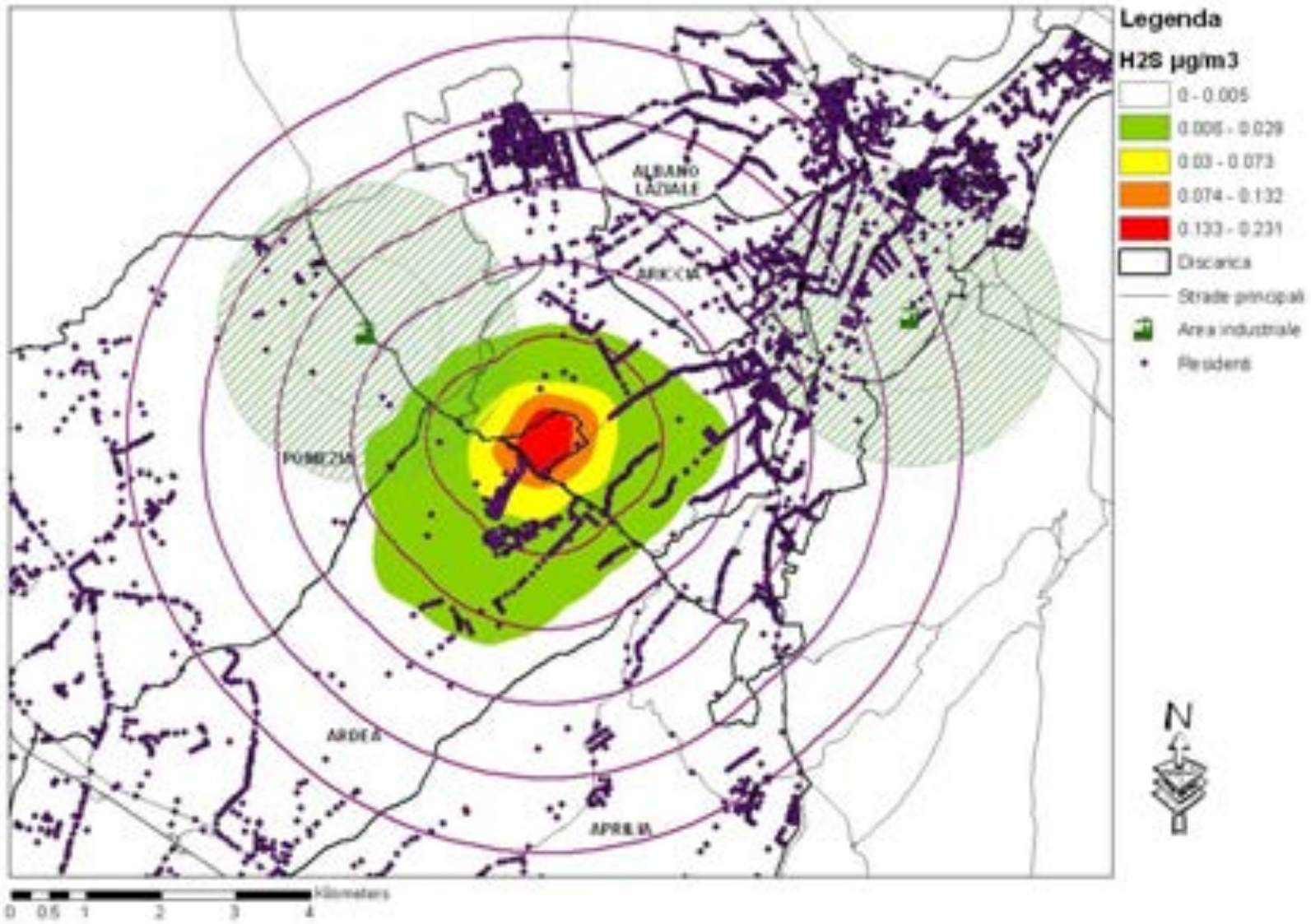


Figura 3. Discarica di Bracciano. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H_2S (µg/m^3)

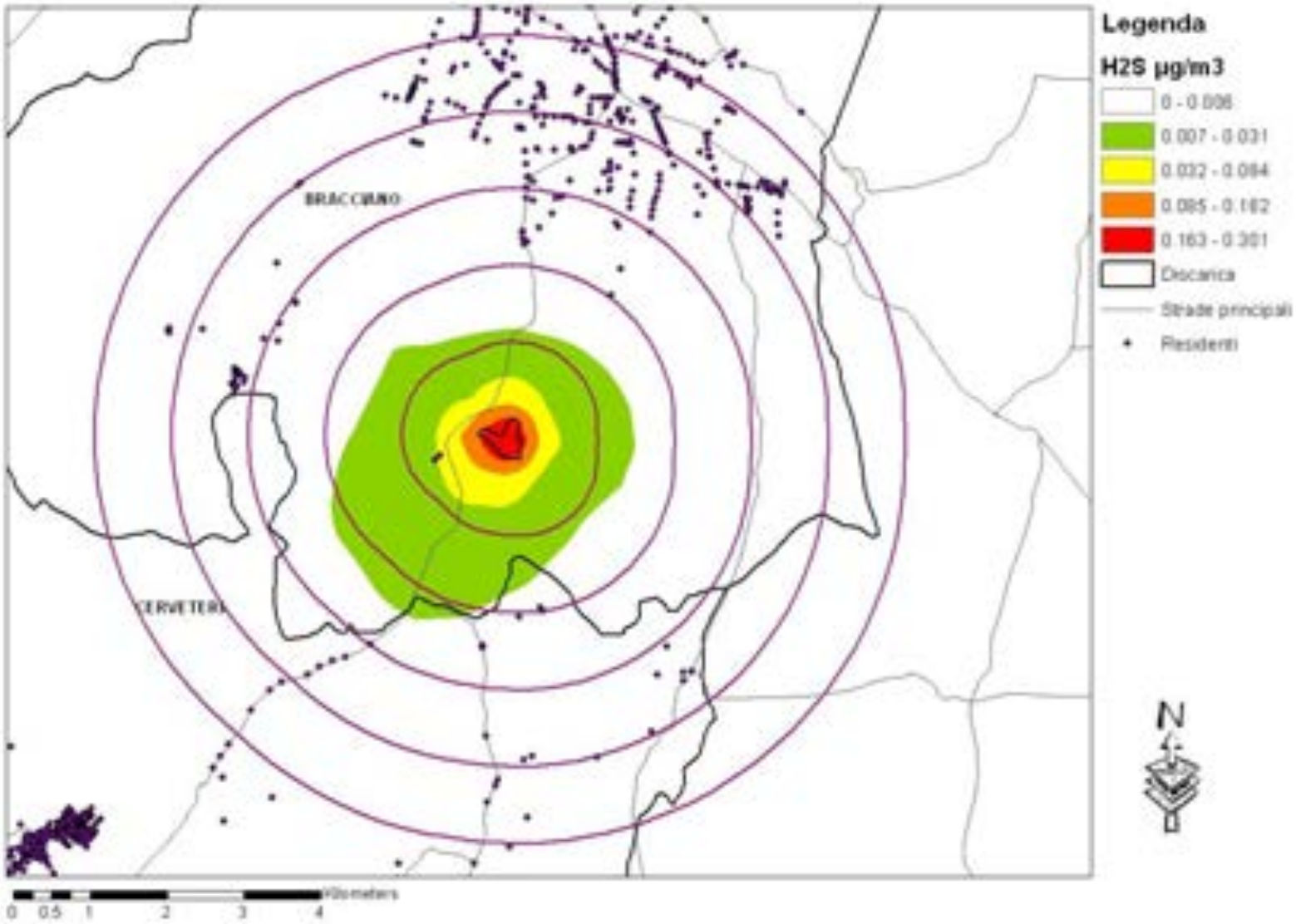


Figura 4. Discarica di Colleferro. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H_2S (µg/m^3)

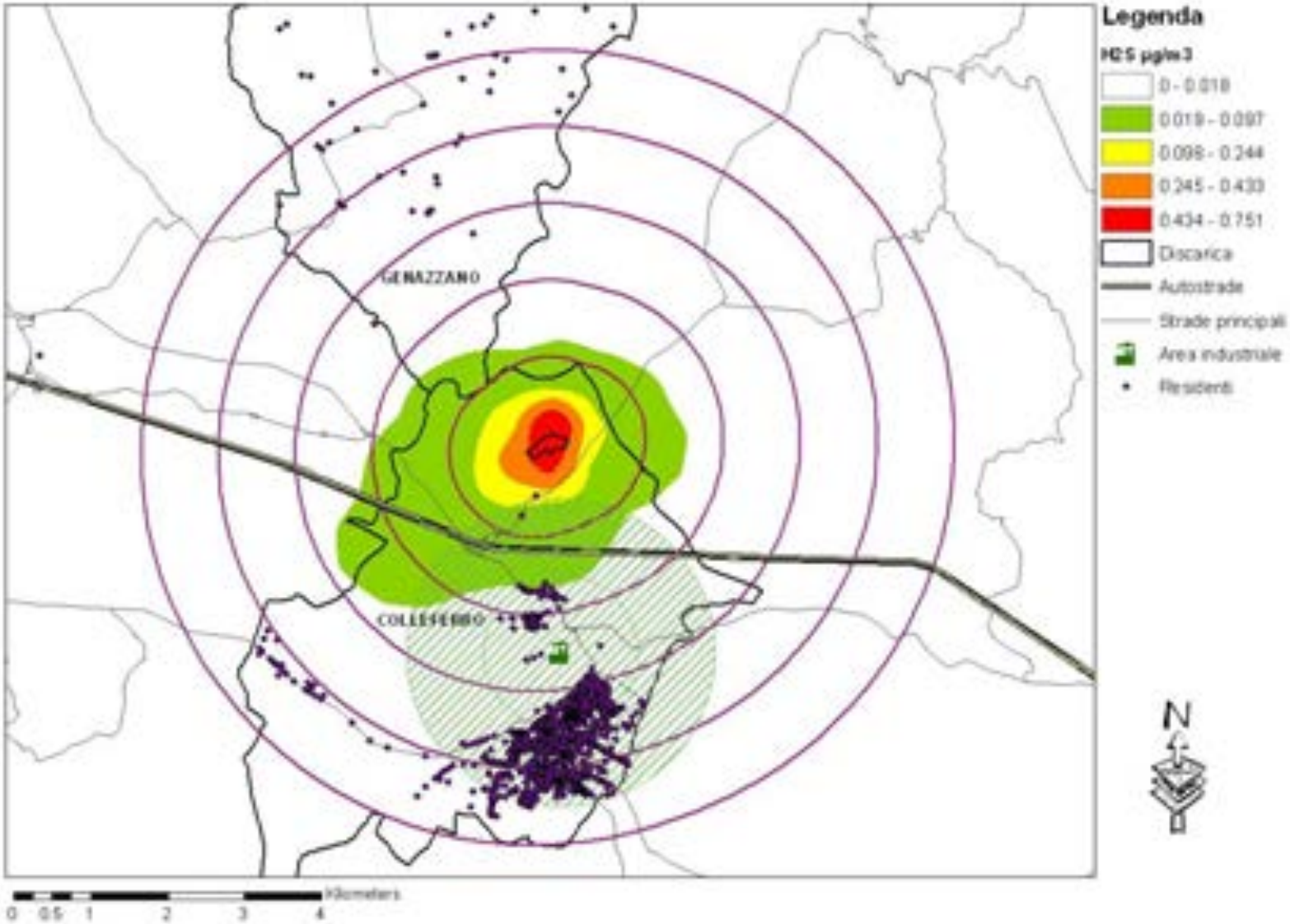


Figura 5. Discarica di Civitavecchia. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H2S (µg/m^3)

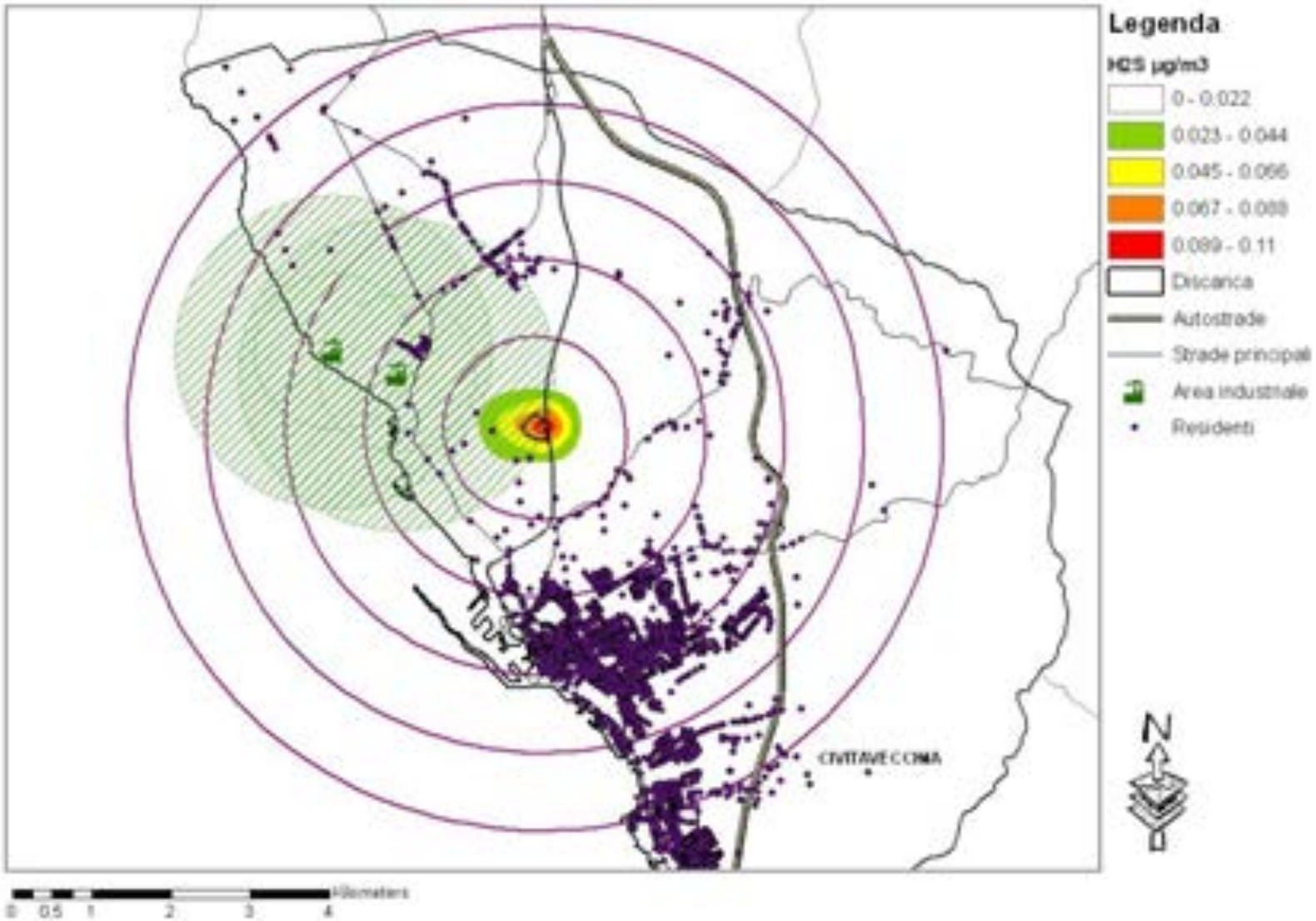


Figura 6. Discarica di Guidonia Montecelio. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H_2S (µg/m^3)

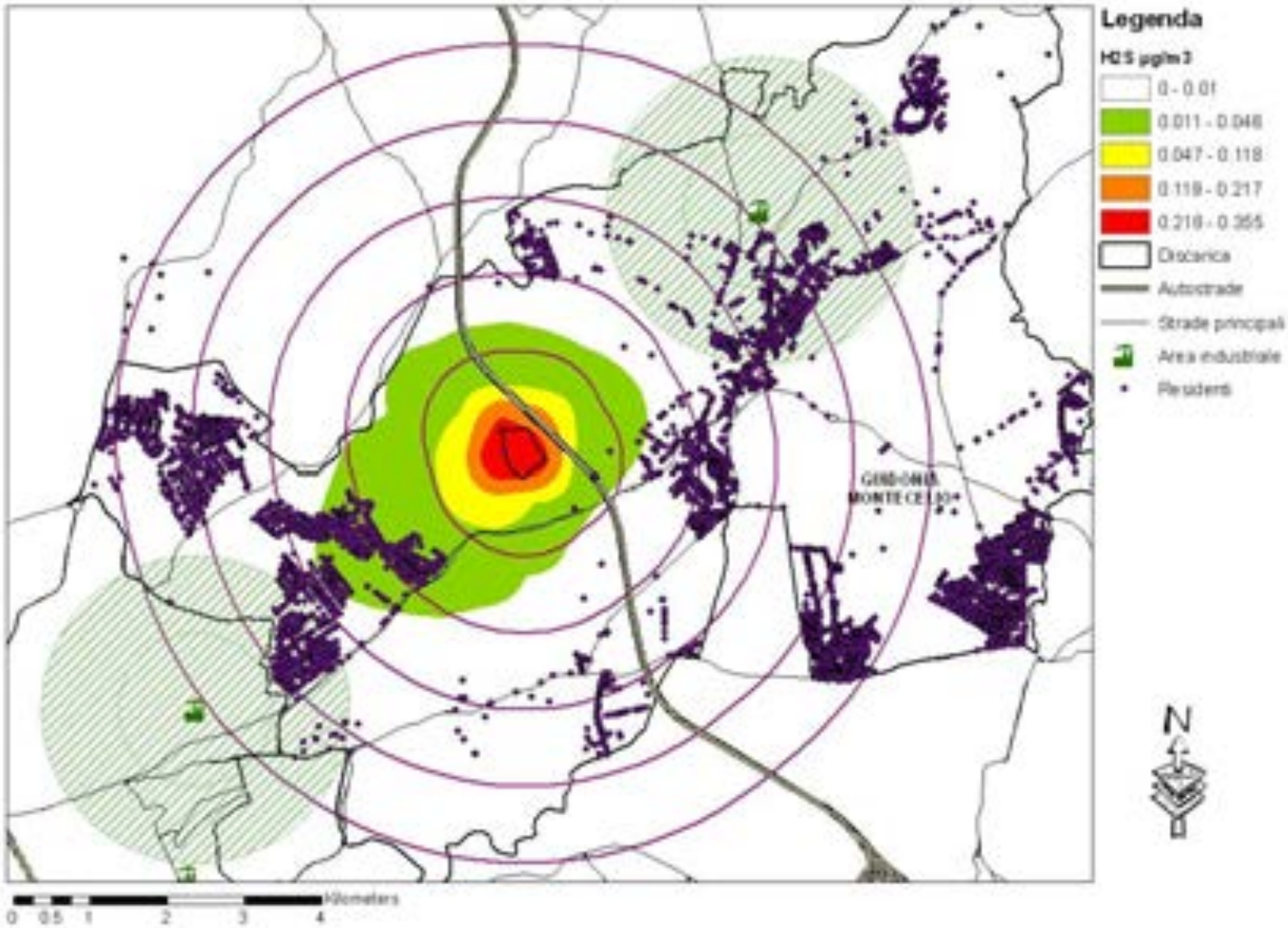


Figura 7. Discarica di Latina. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H_2S (µg/m^3)

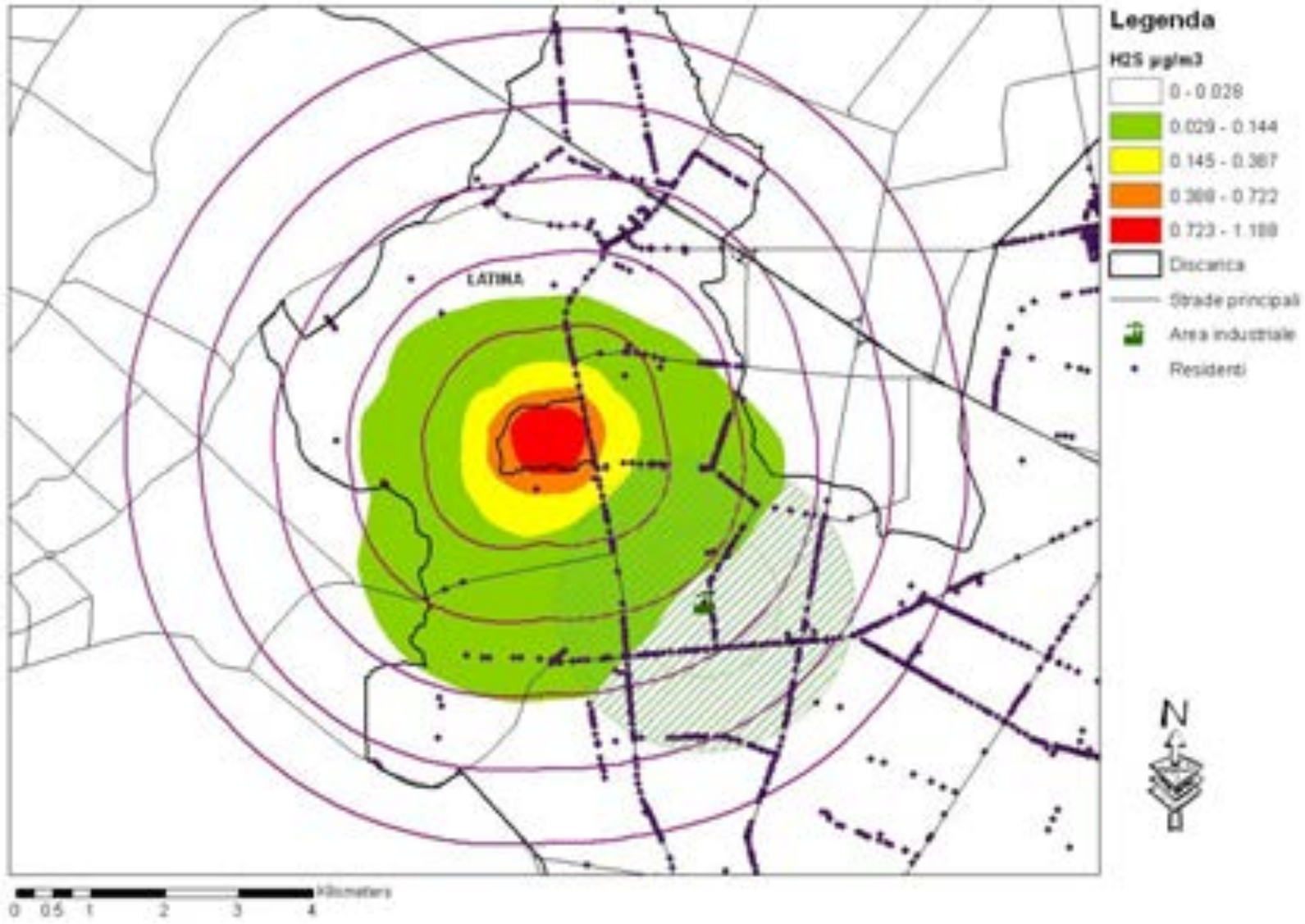


Figura 8. Discarica di Roccasecca. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H_2S (µg/m^3)

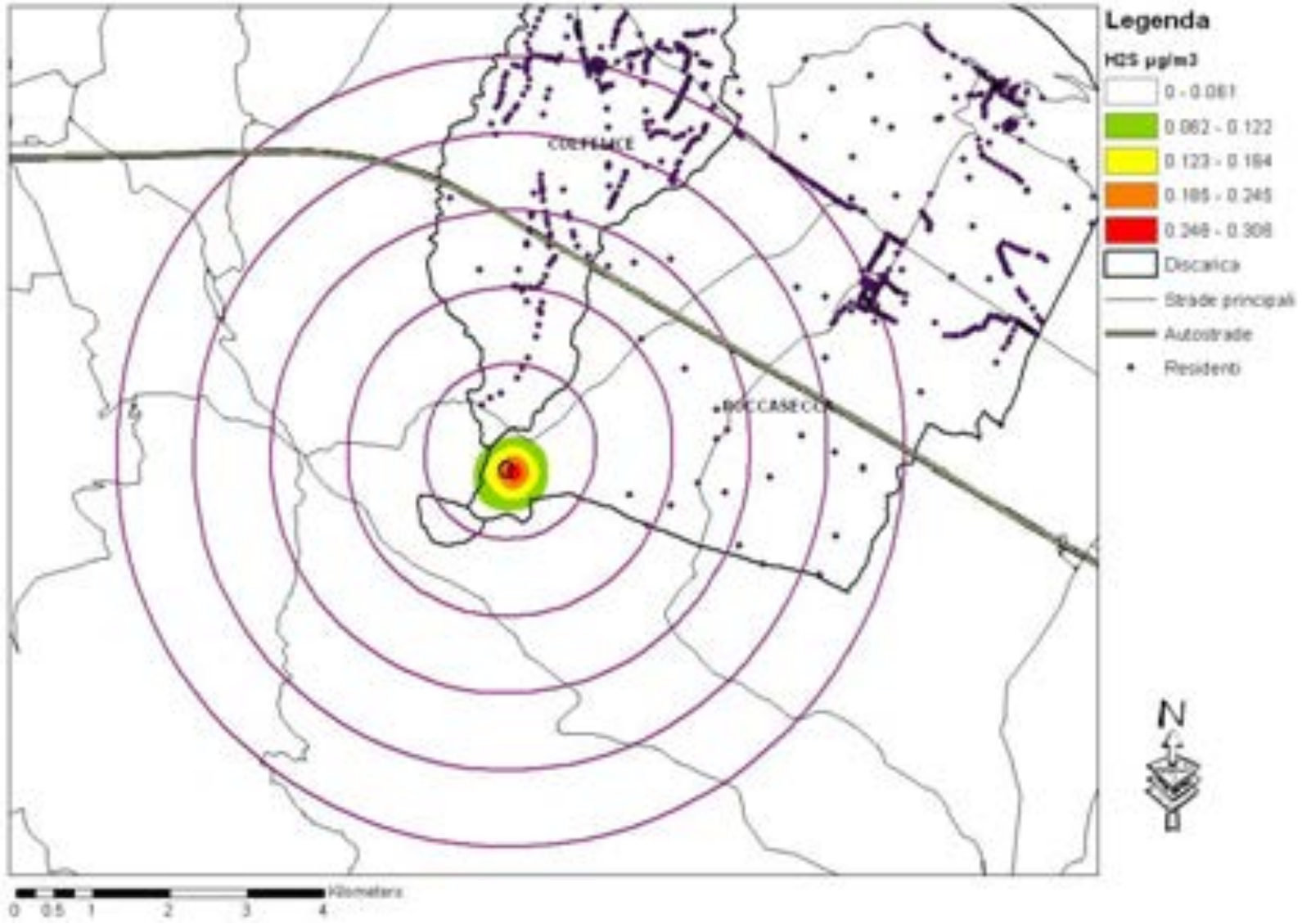


Figura 9. Discarica di Roma Malagrotta. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H_2S (µg/m^3)

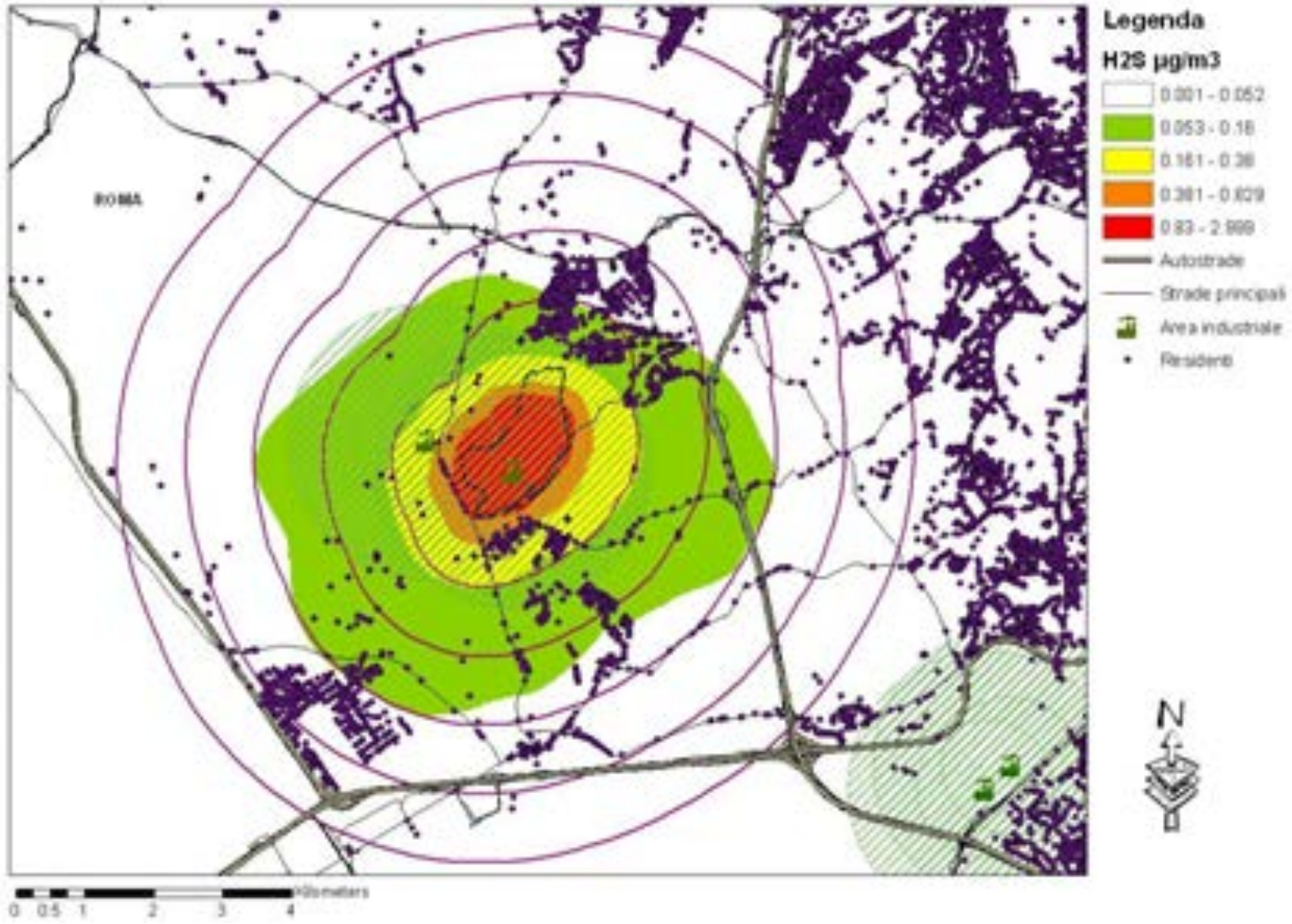


Figura 10. Discarica Viterbo. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H_2S (µg/m^3)

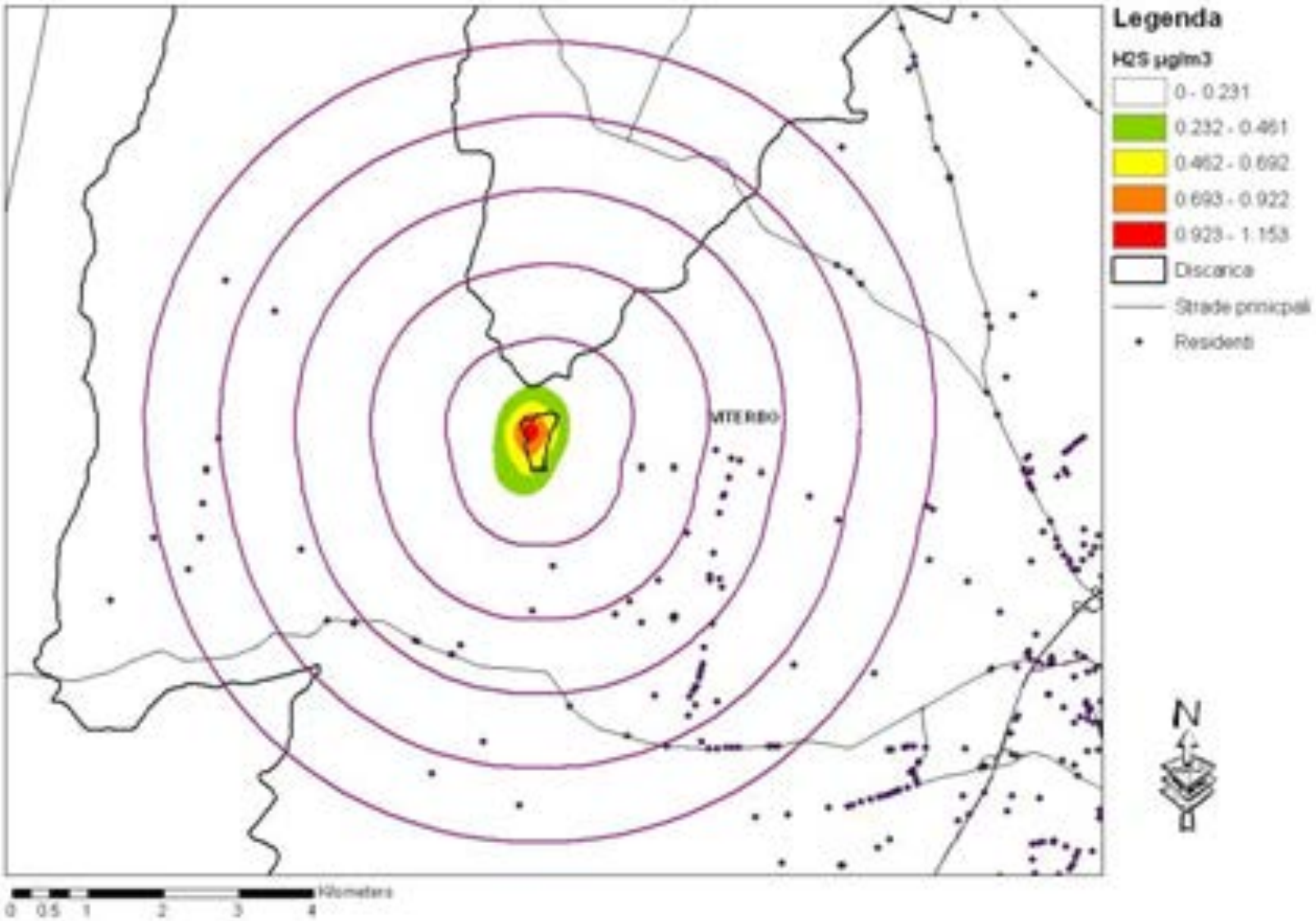


Tabella 1. Coorte dei residenti per distanza dalle nove discariche, per sesso, età all'inizio del *follow-up*, livello socio-economico, discarica, livello di PM_{10} e residenza in prossimità di strade principali, autostrade e industrie

		Totale		Distanza							
				0-1 Km		1-2 Km		2-3 Km		3-5 Km	
Totale		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
		242,409	100.0	5,187	100.0	21,475	100.0	65,386	100.0	150,361	100.0
Sesso	Maschi	120,232	49.6	2,619	50.5	10,801	50.3	32,369	49.5	74,443	49.5
	Femmine	122,177	50.4	2,568	49.5	10,674	49.7	33,017	50.5	75,918	50.5
Età	0-14	62,244	25.7	1,290	24.9	5,614	26.1	17,142	26.2	38,198	25.4
	15-44	113,719	46.9	2,414	46.5	10,524	49.0	30,867	47.2	69,914	46.5
	45-64	46,249	19.1	1,134	21.9	3,945	18.4	11,964	18.3	29,206	19.4
	>65	20,197	8.3	349	6.7	1,392	6.5	5,413	8.3	13,043	8.7
Livello socio-economico	Alto	23,589	9.7	0	0.0	81	0.4	2,778	4.2	20,730	13.8
	Medio-alto	41,955	17.3	22	0.4	1,836	8.5	11,662	17.8	28,435	18.9
	Medio	42,286	17.4	1,058	20.4	4,050	18.9	14,499	22.2	22,679	15.1
	Medio-Basso	50,394	20.8	1,460	28.1	5,510	25.7	13,473	20.6	29,951	19.9
	Basso	62,157	25.6	2,452	47.3	8,552	39.8	14,347	21.9	36,806	24.5
	missing	22,028	9.1	195	3.8	1,446	6.7	8,627	13.2	11,760	7.8
Discarica	Albano Laziale	52,438	21.6	2,273	43.8	4,386	20.4	15,064	23.0	30,715	20.4
	Bracciano	3,954	1.6	15	0.3	2	0.0	544	0.8	3,393	2.3
	Latina	5,677	2.3	331	6.4	583	2.7	1,785	2.7	2,978	2.0
	Civitavecchia	52,150	21.5	89	1.7	4,446	20.7	24,343	37.2	23,272	15.5
	Guidonia	80,319	33.1	35	0.7	7,919	36.9	19,335	29.6	53,030	35.3
	Viterbo	798	0.3	0	0.0	17	0.1	331	0.5	450	0.3
	Roma	15,096	6.2	2,411	46.5	3,624	16.9	1,211	1.9	7,850	5.2
	Roccasecca	2,610	1.1	21	0.4	65	0.3	694	1.1	1,830	1.2
	Colleferro	29,367	12.1	12	0.2	433	2.0	2,079	3.2	26,843	17.9
PM10	< 50° percentile	121,222	50.0	1,480	28.5	7,859	36.6	41,431	63.4	70,452	46.9
	50° - 90° percentile	96,369	39.8	3,706	71.4	13,199	61.5	21,854	33.4	57,610	38.3
	> 90°percentile	24,818	10.2	1	0.0	417	1.9	2,101	3.2	22,299	14.8
Strade principali	> 150 m	127,711	52.7	4,007	77.3	13,988	65.1	29,490	45.1	80,226	53.4
	<= 150 m	114,698	47.3	1,180	22.7	7,487	34.9	35,896	54.9	70,135	46.6
Autostrade	> 500 m	232,981	96.1	5,150	99.3	21,304	99.2	63,691	97.4	142,836	95.0
	<= 500 m	9,428	3.9	37	0.7	171	0.8	1,695	2.6	7,525	5.0
Industrie	> 2 Km	179,043	73.9	4,379	84.4	19,632	91.4	58,360	89.3	96,672	64.3
	0 - 1 Km	12,863	5.3	132	2.5	713	3.3	2,261	3.5	9,757	6.5
	1 - 2 Km	50,503	20.8	676	13.0	1,130	5.3	4,765	7.3	43,932	29.2

Tabella 2. Coorte dei residenti per livello di concentrazione di idrogeno solforato (H_2S), per sesso, età all'inizio del *follow-up*, livello socio-economico, discarica, livello di PM_{10} e residenza i prossimità di strade principali, autostrade e industrie

Totale		Totale		Concentrazione di H2S					
				<50° percentile		50°-90° percentile		>90° percentile	
		n	%	n	%	n	%	n	%
		242,409	100.0	121,702	100.0	96,491	100.0	24,216	100.0
Sesso	Maschi	120,232	49.6	59,918	49.2	48,183	49.9	12,131	50.1
	Femmine	122,177	50.4	61,784	50.8	48,308	50.1	12,085	49.9
Età	0-14	62,244	25.7	31,072	25.5	25,529	26.5	5,643	23.3
	15-44	113,719	46.9	56,435	46.4	45,870	47.5	11,414	47.1
	45-64	46,249	19.1	23,760	19.5	17,226	17.9	5,263	21.7
	>65	20,197	8.3	10,435	8.6	7,866	8.2	1,896	7.8
Livello socio-economico	Alto	23,589	9.7	16,045	13.2	7,106	7.4	438	1.8
	Medio-alto	41,955	17.3	16,677	13.7	20,772	21.5	4,506	18.6
	Medio	42,286	17.4	16,035	13.2	21,669	22.5	4,582	18.9
	Medio-Basso	50,394	20.8	22,180	18.2	21,495	22.3	6,719	27.7
	Basso	62,157	25.6	38,012	31.2	17,299	17.9	6,846	28.3
	missing	22,028	9.1	12,753	10.5	8,150	8.4	1,125	4.6
Discarica	Albano Laziale	52,438	21.6	32,077	26.4	18,089	18.7	2,272	9.4
	Bracciano	3,954	1.6	3,643	3.0	296	0.3	15	0.1
	Latina	5,677	2.3	0	0.0	2,187	2.3	3,490	14.4
	Civitavecchia	52,150	21.5	51,816	42.6	295	0.3	39	0.2
	Guidonia	80,319	33.1	31,532	25.9	43,424	45.0	5,363	22.1
	Viterbo	798	0.3	95	0.1	550	0.6	153	0.6
	Roma	15,096	6.2	0	0.0	3,642	3.8	11,454	47.3
	Roccasecca	2,610	1.1	2,038	1.7	571	0.6	1	0.0
	Colleferro	29,367	12.1	501	0.4	27,437	28.4	1429	5.9
PM10	< 50° percentile	121,222	50.0	74,067	60.9	40,648	42.1	6,507	26.9
	50° - 90° percentile	96,369	39.8	45,523	37.4	37,412	38.8	13,434	55.5
	> 90°percentile	24,818	10.2	2,112	1.7	18,431	19.1	4,275	17.7
Strade pricipali	> 150 m	127,711	52.7	63,984	52.6	47,700	49.4	16,027	66.2
	<= 150 m	114,698	47.3	57,718	47.4	48,791	50.6	8,189	33.8
Autostrade	> 500 m	232,981	96.1	117,707	96.7	93,138	96.5	22,136	91.4
	<= 500 m	9,428	3.9	3,995	3.3	3,353	3.5	2,080	8.6
Industrie	> 2 Km	179,043	73.9	107,923	88.7	50,633	52.5	20,487	84.6
	0 - 1 Km	12,863	5.3	3,052	2.5	8,063	8.4	1,748	7.2
	1 - 2 Km	50,503	20.8	10,727	8.8	37,795	39.2	1,981	8.2

Tabella 3. Decessi per causa della coorte dei residenti entro 5 Km dalle nove discariche. Numero di casi osservati (OSS), attesi (ATT) e rapporti standardizzati indiretti di mortalità (SMR) aggiustati per età con i relativi Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per causa e periodo. Riferimento regione Lazio. Uomini e donne. Periodo 1996 -2008

CAUSA (ICD-9-CM)	uomini					donne				
	OSS	ATT	SMR	I.C. 95%		OSS	ATT	SMR	I.C. 95%	
Tutte le cause (001-999)	6525	6338.1	**1.03**	**1.00**	**1.05**	5507	5676.0	0.97	0.94	1.00
Tumori totali (140-239)	2333	2263.8	1.03	0.99	1.07	1461	1627.2	**0.90**	**0.85**	**0.95**
Stomaco (151)	162	143.1	1.13	0.96	1.32	107	98.8	1.08	0.89	1.31
Colon retto (153-154, 159)	253	262.2	0.97	0.85	1.09	199	219.0	0.91	0.79	1.04
Fegato e dotti biliari (155-156)	153	153.8	0.99	0.84	1.17	116	111.9	1.04	0.86	1.24
Pancreas (157)	85	102.4	0.83	0.66	1.03	100	97.8	1.02	0.83	1.24
Laringe (161)	45	38.1	1.18	0.86	1.58	8	4.1	1.94	0.84	3.82
Trachea, bronchi e polmoni (162)	706	679.7	1.04	0.96	1.12	162	211.5	**0.77**	**0.65**	**0.89**
Pleura (163)	21	10.9	**1.93**	**1.20**	**2.95**	9	5.0	1.79	0.82	3.40
Connettivo e tessuti molli (171)	5	9.2	0.55	0.18	1.27	4	8.3	0.48	0.13	1.24
Mammella (174)						244	268.6	0.91	0.80	1.03
Utero (179-180;182)						60	66.8	0.90	0.68	1.16
Ovaio (183)						62	73.8	0.84	0.64	1.08
Prostata (185)	187	173.9	1.08	0.93	1.24					
Testicolo (186)	1	3.2	-	-	-					
Vescica (188)	123	108.3	1.14	0.94	1.35	21	27.7	0.76	0.47	1.16
Rene (189)	54	59.6	0.91	0.68	1.18	31	25.9	1.20	0.81	1.70
Encefalo ed altri tumori del SNC (191-192; 225)	54	61.5	0.88	0.66	1.15	40	52.4	0.76	0.55	1.04
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	192	177.1	1.08	0.94	1.25	106	145.7	**0.73**	**0.60**	**0.88**
Linfomi non-Hodgkin (200-202)	63	56.4	1.12	0.86	1.43	40	44.7	0.89	0.64	1.22
Linfomi Hodgkin (201)	9	7.0	1.28	0.59	2.43	2	5.3	-	-	-
Mieloma (203)	46	33.0	**1.39**	**1.02**	**1.86**	18	31.7	**0.57**	**0.34**	**0.90**
Leucemie (204-208)	74	80.7	0.92	0.72	1.15	46	63.9	**0.72**	**0.53**	**0.96**
Diabete (250)	152	164.2	0.93	0.78	1.08	217	203.4	1.07	0.93	1.22
Morbo di Parkinson e altre malattie del SNC (330-349)	106	129.2	**0.82**	**0.67**	**0.99**	123	162.4	**0.76**	**0.63**	**0.90**
Malattie cardiovascolari (390-459)	2205	2326.1	**0.95**	**0.91**	**0.99**	2367	2473.8	0.96	0.92	1.00
Malattie ischemiche (410-414)	918	915.9	1.00	0.94	1.07	701	705.1	0.99	0.92	1.07
Malattie apparato respiratorio (460-519)	436	363.5	**1.20**	**1.09**	**1.32**	285	268.6	1.06	0.94	1.19
BPCO (490-492, 494, 496)	269	219.5	**1.23**	**1.08**	**1.38**	140	142.0	0.99	0.83	1.16
Malattie apparato digerente (520-579)	322	292.4	1.10	0.98	1.23	209	243.5	**0.86**	**0.75**	**0.98**
Malattie apparato genito urinario (580-629)	101	86.3	1.17	0.95	1.42	96	78.3	1.23	0.99	1.50
Traumatismi e avvelenamenti (800-999)	350	354.7	0.99	0.89	1.10	226	240.9	0.94	0.82	1.07

Tabella 4. Rischi relativi (Hazard Ratios, HR) di mortalità aggiustati per età, SES, PM_{10}, residenza vicino a strade principali, autostrade e industrie e i relativi Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per le diverse fasce di distanza dalle nove discariche

a) Uomini

CAUSA (ICD-9-CM)	Distanza																
	3-5 Km*	2-3 Km				1-2 Km				0-1 Km				Trend lineare (per 1 Km)		
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-799)	3,919	1,476	1.00	0.93	1.06	445	1.00	0.90	1.11	109	0.88	0.72	1.08	0.99	0.97	1.02
Tumori totali (140-239)	1,531	532	0.94	0.85	1.05	164	0.94	0.79	1.12	46	0.92	0.67	1.25	0.99	0.95	1.04
Stomaco (151)	110	35	0.95	0.63	1.44	15	1.39	0.78	2.47	2	0.55	0.13	2.37	1.03	0.88	1.22
Colon retto (153-154,159)	145	46	1.04	0.72	1.48	23	**1.72**	**1.06**	**2.79**	7	1.70	0.74	3.90	1.12	0.98	1.29
Fegato e dotti biliari (155-156)	84	22	0.66	0.40	1.10	6	0.65	0.27	1.54	3	1.19	0.34	4.17	0.85	0.69	1.05
Pancreas (157)	60	16	0.64	0.36	1.16	8	0.89	0.40	1.98	1	-	-	-	0.95	0.76	1.18
Laringe (161)	33	10	0.79	0.37	1.69	1	-	-	-	1	-	-	-	0.92	0.66	1.29
Trachea bronchi e polmoni (162)	462	179	1.06	0.88	1.28	49	0.88	0.64	1.20	12	0.80	0.43	1.46	1.00	0.92	1.08
Vescica (188)	86	26	0.78	0.49	1.24	9	0.79	0.38	1.66	2	-	-	-	0.92	0.77	1.11
Rene (189)	41	9	0.53	0.24	1.16	3	0.57	0.17	1.90	1	-	-	-	0.85	0.64	1.14
Encefalo (191)	30	11	1.04	0.48	2.22	1	-	-	-	2	-	-	-	1.13	0.82	1.57
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	129	50	0.98	0.69	1.40	10	0.69	0.36	1.35	2	-	-	-	0.99	0.85	1.15
Malattie cardiovascolari (390-459)	1,460	531	0.96	0.86	1.07	168	1.05	0.88	1.24	37	0.82	0.59	1.16	0.98	0.93	1.02
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	607	219	0.97	0.81	1.14	76	1.03	0.80	1.33	12	0.55	0.30	1.01	0.93	0.87	1.00
Malattie apparato respiratorio (460-519)	265	131	1.18	0.93	1.49	30	0.94	0.63	1.41	10	1.03	0.53	2.03	1.03	0.94	1.14
Malattie apparato digerente (520-579)	207	79	1.11	0.83	1.48	30	1.26	0.83	1.91	5	0.80	0.31	2.03	1.01	0.90	1.13
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	59	29	1.44	0.86	2.39	9	1.55	0.72	3.36	3	1.61	0.45	5.77	**1.25**	**1.02**	**1.54**

* Categoria di riferimento

b) Donne

CAUSA (ICD-9-CM)	3-5 Km*	Distanza 2-3 Km				1-2 Km				0-1 Km				Trend lineare (per 1 Km)		
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-799)	3,307	1,346	1.04	0.97	1.12	364	1.06	0.94	1.19	89	1.18	0.94	1.47	1.01	0.98	1.04
Tumori totali (140-239)	939	356	1.05	0.92	1.20	98	0.98	0.79	1.23	27	1.00	0.66	1.50	1.00	0.94	1.06
Stomaco (151)	69	31	1.34	0.84	2.15	5	0.62	0.24	1.60	2	-	-	-	0.97	0.79	1.18
Colon retto (153-154,159)	112	48	1.12	0.77	1.63	10	0.89	0.46	1.75	3	1.25	0.37	4.23	1.07	0.91	1.26
Fegato e dotti biliari (155-156)	49	11	0.71	0.35	1.45	1	-	-	-	2	-	-	-	0.87	0.65	1.17
Pancreas (157)	65	23	1.07	0.62	1.83	7	1.12	0.49	2.58	4	1.99	0.61	6.47	1.01	0.81	1.25
Laringe (161)	4	1	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	0.81	0.43	1.53
Trachea bronchi e polmoni (162)	114	34	0.91	0.60	1.39	12	0.98	0.52	1.86	2	-	-	-	0.99	0.83	1.17
Vescica (188)	9	9	**4.85**	**1.52**	**15.42**	3	**4.79**	**1.03**	**22.34**	0	-	-	-	**1.81**	**1.12**	**2.95**
Rene (189)	18	11	1.46	0.61	3.50	2	-	-	-	0	-	-	-	1.00	0.68	1.48
Encefalo (191)	24	6	0.72	0.28	1.84	2	-	-	-	1	-	-	-	0.79	0.55	1.13
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	67	27	0.93	0.57	1.53	9	1.29	0.62	2.68	3	1.59	0.46	5.42	0.99	0.81	1.22
Malattie cardiovascolari (390-459)	1,543	607	1.00	0.90	1.12	171	1.08	0.91	1.27	40	1.21	0.87	1.69	0.99	0.94	1.03
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	455	175	1.06	0.87	1.29	56	1.19	0.88	1.61	13	1.28	0.71	2.31	1.02	0.94	1.11
Malattie apparato respiratorio (460-519)	168	94	1.33	0.99	1.81	19	1.21	0.73	1.99	4	1.33	0.47	3.73	1.08	0.94	1.23
Malattie apparato digerente (520-579)	147	43	0.71	0.49	1.04	13	0.92	0.51	1.66	5	1.55	0.60	4.03	0.95	0.82	1.11
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	52	37	1.52	0.93	2.49	5	0.85	0.33	2.22	1	-	-	-	1.12	0.89	1.41

* Categoria di riferimento

Tabella 5. Rischi Relativi (Hazard Ratios, HR) di mortalità aggiustati per età, SES, PM_{10}, 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_2S

a) Uomini

CAUSA (ICD-9-CM)	Concentrazioni di H_2S							
	<50° percentile*	>90° percentile				Trend lineare (per 0.030ug/m^3)		
	n	n	HR	I.C. 95%		HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-799)	2,684	570	0.93	0.81	1.07	0.94	0.89	1.00
Tumori totali (140-239)	1,007	226	1.00	0.80	1.24	0.92	0.84	1.01
Stomaco (151)	70	14	0.86	0.38	1.95	0.89	0.61	1.30
Colon retto (153-154,159)	92	27	1.29	0.66	2.52	0.95	0.76	1.20
Fegato e dotti biliari (155-156)	54	10	0.54	0.18	1.58	0.51	0.20	1.26
Pancreas (157)	42	9	0.60	0.18	2.05	0.73	0.37	1.44
Laringe (161)	21	5	0.31	0.06	1.47	0.18	0.02	1.86
Trachea bronchi e polmoni (162)	300	60	0.94	0.63	1.40	0.97	0.84	1.11
Vescica (188)	59	15	1.22	0.48	3.09	0.70	0.39	1.24
Rene (189)	22	8	1.09	0.31	3.86	0.88	0.48	1.59
Encefalo (191)	16	5	1.38	0.34	5.63	1.00	0.72	1.38
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	91	14	0.86	0.40	1.87	0.77	0.43	1.38
Malattie cardiovascolari (390-459)	1,007	211	0.88	0.71	1.10	0.94	0.86	1.04
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	439	81	0.67	0.47	0.96	0.91	0.77	1.06
Malattie apparato respiratorio (460-519)	201	42	0.96	0.58	1.60	0.96	0.80	1.14
Malattie apparato digerente (520-579)	127	33	0.95	0.53	1.71	1.03	0.90	1.17
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	47	7	0.54	0.14	2.11	0.65	0.26	1.60

* Categoria di riferimento

b) Donne

CAUSA (ICD-9-CM)	Concentrazioni di H_2S							
	<50° percentile	>90° percentile				Trend lineare (per 0.030ug/m^3)		
	n	n	HR	I.C. 95%		HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-799)	2,436	462	1.14	0.98	1.32	1.00	0.97	1.03
Tumori totali (140-239)	646	139	1.07	0.81	1.42	1.01	0.95	1.07
Stomaco (151)	44	10	0.67	0.23	1.93	0.86	0.55	1.34
Colon retto (153-154,159)	92	10	0.87	0.35	2.15	0.97	0.70	1.35
Fegato e dotti biliari (155-156)	30	1	-	-	-	0.64	0.14	2.94
Pancreas (157)	41	19	2.26	0.85	6.03	1.04	0.89	1.21
Laringe (161)	4	3	0.00	0.00	0.00	1.18	0.86	1.60
Trachea bronchi e polmoni (162)	64	19	1.30	0.58	2.91	1.07	0.95	1.20
Vescica (188)	6	3	**12.55**	**1.45**	**108.34**	1.08	0.93	1.26
Rene (189)	18	1	-	-	-	0.22	0.01	6.28
Encefalo (191)	11	4	0.23	0.04	1.43	0.31	0.08	1.22
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	53	13	1.63	0.64	4.19	0.90	0.55	1.47
Malattie cardiovascolari (390-459)	1,165	221	1.09	0.88	1.36	0.99	0.94	1.05
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	344	67	1.03	0.69	1.55	1.01	0.92	1.12
Malattie apparato respiratorio (460-519)	125	21	1.60	0.84	3.05	0.96	0.77	1.20
Malattie apparato digerente (520-579)	96	17	1.13	0.55	2.32	1.01	0.87	1.18
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	53	3	0.43	0.09	1.94	0.47	0.10	2.23

* Categoria di riferimento

Tabella 6. Ricoveri per causa della coorte dei residenti entro 5 Km dalle nove discariche. Numero di casi osservati (OSS), attesi (ATT) e rapporti standardizzati indiretti di ospedalizzazione (SHR) aggiustati per età con i relativi Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per causa e periodo. Riferimento regione Lazio. Uomini e donne. Periodo 2004 -2008

CAUSA (ICD-9-CM)	uomini					donne				
	OSS	ATT	SHR	I.C. 95%		OSS	ATT	SHR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	21,116	20,249	**1.04**	**1.03**	**1.06**	22,180	21,468	**1.03**	**1.02**	**1.05**
Tumori maligni (140-208)	2,323	2,574	**0.90**	**0.87**	**0.94**	2,150	2,378	**0.90**	**0.87**	**0.94**
Stomaco (151)	100	109	0.91	0.74	1.11	84	73	1.14	0.91	1.42
Colon retto (153-154)	281	338	**0.83**	**0.74**	**0.94**	238	264	0.90	0.79	1.02
Primitivi del fegato (155)	74	90	0.82	0.65	1.03	32	43	0.74	0.51	1.05
Pancreas (157)	47	63	**0.74**	**0.55**	**0.99**	60	62	0.96	0.74	1.24
Laringe (161)	56	56	0.99	0.75	1.29	5	8	0.62	0.20	1.44
Trachea bronchi e polmoni (162)	382	382	1.00	0.90	1.11	132	140	0.94	0.79	1.12
Vescica (188)	331	357	0.93	0.83	1.03	61	81	**0.75**	**0.58**	**0.97**
Rene (189)	87	105	0.83	0.67	1.03	49	52	0.94	0.70	1.24
Encefalo (191)	45	55	0.82	0.60	1.09	36	43	0.84	0.59	1.16
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	185	191	0.97	0.84	1.12	106	153	**0.69**	**0.57**	**0.84**
Malattie sistema circolatorio (390-459)	5,306	5,789	**0.92**	**0.89**	**0.94**	4,040	4,644	**0.87**	**0.84**	**0.90**
Malattie cardiache (390-429)	3,344	3,865	**0.87**	**0.84**	**0.90**	2,512	2,888	**0.87**	**0.84**	**0.90**
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	1,477	1,871	**0.79**	**0.75**	**0.83**	751	885	**0.85**	**0.79**	**0.91**
Malattie cerebrovascolari (430-438)	1,251	1,380	**0.91**	**0.86**	**0.96**	1,109	1,374	**0.81**	**0.76**	**0.86**
Malattie apparato respiratorio (460-519)	3,518	3,633	0.97	0.94	1.00	2,596	2,826	**0.92**	**0.88**	**0.95**
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	1,247	1,300	0.96	0.91	1.01	959	1,015	0.95	0.89	1.01
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492;494;496)	546	443	**1.23**	**1.13**	**1.34**	338	328	1.03	0.92	1.15
Asma (493)	130	146	0.89	0.74	1.06	110	123	0.89	0.73	1.08
Malattie apparato digerente (520-579)	4,182	4,758	**0.88**	**0.85**	**0.91**	3,718	4,080	**0.91**	**0.88**	**0.94**
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	1,347	1,365	0.99	0.93	1.04	897	962	0.93	0.87	1.00
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	347	357	0.97	0.87	1.08	252	271	0.93	0.82	1.05
Disturbi ghiandola tiroidea (240-246)	140	166	0.84	0.71	1.00	575	562	1.02	0.94	1.11

Tabella 7. Hazard Ratios (HR) di ricovero aggiustati per età, SES, PM_{10}, residenza vicino a strade principali, autostrade e industrie ed Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per le diverse fasce di distanza dalle nove discariche. a) Uomini

CAUSA (ICD-9-CM)	Distanza 3-5 Km*	2-3 Km				1-2 Km				0-1 Km				Trend lineare (per 1 Km)		
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	26,896	11,139	0.99	0.97	1.01	3,969	**1.04**	**1.00**	**1.08**	1,018	1.02	0.96	1.09	1.00	0.99	1.01
Tumori maligni (140-208)	2,972	1,100	0.96	0.89	1.03	366	0.97	0.87	1.09	95	0.91	0.73	1.13	0.98	0.95	1.01
Stomaco (151)	125	55	1.21	0.85	1.71	14	0.97	0.54	1.74	3	0.82	0.25	2.69	1.04	0.90	1.21
Colon retto (153-154)	332	115	0.98	0.78	1.23	42	1.08	0.77	1.52	16	1.27	0.73	2.21	1.04	0.95	1.14
Primitivi del fegato (155)	72	15	**0.46**	**0.25**	**0.83**	6	0.57	0.24	1.36	2	-	-	-	**0.75**	**0.60**	**0.93**
Pancreas (157)	67	19	0.82	0.47	1.42	8	0.88	0.39	1.95	0	-	-	-	0.92	0.74	1.14
Laringe (161)	82	26	0.87	0.54	1.39	11	1.05	0.54	2.05	2	-	-	-	0.98	0.81	1.18
Trachea bronchi e polmoni (162)	490	180	0.94	0.78	1.13	55	0.91	0.68	1.22	12	0.80	0.44	1.46	0.96	0.88	1.03
Vescica (188)	390	146	1.01	0.82	1.25	44	0.97	0.70	1.35	16	1.32	0.77	2.28	1.03	0.95	1.12
Rene (189)	110	44	0.99	0.68	1.45	14	0.88	0.49	1.59	2	-	-	-	0.98	0.83	1.14
Encefalo (191)	55	23	1.10	0.64	1.87	6	0.96	0.40	2.30	2	-	-	-	1.03	0.82	1.29
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	274	111	1.09	0.85	1.39	29	0.88	0.59	1.32	7	0.91	0.41	2.01	1.02	0.92	1.14
Malattie sistema circolatorio (390-459)	6,574	2,593	1.00	0.96	1.06	985	**1.12**	**1.05**	**1.21**	270	1.08	0.95	1.24	**1.02**	**1.00**	**1.04**
Malattie cardiache (390-429)	3,956	1,507	0.97	0.91	1.03	601	**1.14**	**1.04**	**1.25**	153	0.99	0.83	1.18	1.01	0.99	1.04
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	1,636	616	0.99	0.90	1.10	243	1.10	0.95	1.27	58	0.94	0.71	1.24	1.00	0.96	1.04
Malattie cerebrovascolari (430-438)	1,362	524	1.05	0.94	1.18	199	**1.20**	**1.02**	**1.41**	64	**1.31**	**1.00**	**1.73**	1.04	0.99	1.08
Malattie apparato respiratorio (460-519)	5,052	1,965	1.02	0.96	1.08	783	**1.14**	**1.05**	**1.24**	184	1.00	0.85	1.17	1.02	0.99	1.04
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	1,554	671	**1.12**	**1.02**	**1.24**	229	1.09	0.94	1.26	64	1.04	0.80	1.36	1.02	0.98	1.06
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492;494;496)	698	266	0.92	0.79	1.07	100	1.08	0.87	1.35	29	1.01	0.68	1.49	1.00	0.94	1.06
Asma (493)	488	184	1.04	0.86	1.26	59	0.89	0.67	1.19	13	0.92	0.52	1.63	0.94	0.87	1.02
Malattie apparato digerente (520-579)	6,989	2,687	0.99	0.94	1.04	1,023	1.02	0.95	1.10	266	0.97	0.85	1.11	1.00	0.98	1.02
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	1,856	755	0.94	0.86	1.03	251	0.95	0.83	1.10	74	1.04	0.81	1.34	0.99	0.95	1.03
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	488	235	0.96	0.81	1.14	57	0.85	0.64	1.14	13	0.77	0.43	1.37	0.95	0.88	1.03
Disturbi ghiandola tiroidea (240-246)	285	91	0.88	0.69	1.14	42	0.99	0.70	1.40	17	1.33	0.77	2.31	1.02	0.92	1.12
Popolazione 0-14 anni																
Cause naturali (001-629;677-799)	4,965	2,167	1.03	0.97	1.09	781	**1.13**	**1.04**	**1.22**	171	1.07	0.91	1.26	**1.02**	**1.00**	**1.04**
Tumori maligni (140-208)	24	10	0.91	0.39	2.10	1	-	-	-	0	-	-	-	0.81	0.55	1.20
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	13	4	0.65	0.19	2.28	0	-	-	-	0	-	-	-	0.68	0.38	1.21
Malattie apparato respiratorio (460-519)	2,031	812	1.01	0.92	1.10	308	**1.16**	**1.02**	**1.32**	60	0.94	0.71	1.23	1.01	0.98	1.05
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	791	347	1.06	0.92	1.22	129	1.21	0.99	1.47	36	1.14	0.80	1.63	1.04	0.98	1.10
Asma (493)	431	165	1.06	0.86	1.29	56	1.00	0.75	1.35	10	0.92	0.48	1.76	0.96	0.88	1.04
Malformazioni congenite (740-759)	604	262	0.95	0.79	1.14	101	1.11	0.86	1.43	16	1.03	0.60	1.78	1.04	0.96	1.12
Alcune condizioni morbose di origine perinatale (760-779)	172	67	1.13	0.73	1.77	23	1.03	0.54	1.96	5	1.10	0.25	4.79	1.10	0.92	1.33

* Categoria di riferimento

b) Donne

CAUSA (ICD-9-CM)	Distanza 3-5 Km	2-3 Km				1-2 Km				0-1 Km				Trend lineare (per 1 Km)		
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	27,542	11,460	1.00	0.97	1.02	3,956	**1.05**	**1.02**	**1.09**	1,024	1.02	0.96	1.09	**1.01**	**1.00**	**1.02**
Tumori maligni (140-208)	2,520	964	0.97	0.89	1.05	314	0.96	0.84	1.08	85	0.95	0.75	1.20	0.98	0.95	1.02
Stomaco (151)	99	38	0.96	0.64	1.45	6	0.46	0.20	1.09	2	-	-	-	0.87	0.73	1.05
Colon retto (153-154)	278	110	1.02	0.80	1.30	28	0.89	0.59	1.34	5	0.61	0.24	1.55	0.95	0.86	1.06
Primitivi del fegato (155)	40	9	0.68	0.31	1.49	1	-	-	-	3	1.94	0.50	7.56	0.86	0.64	1.15
Pancreas (157)	58	21	0.98	0.56	1.69	9	1.44	0.68	3.07	5	**3.05**	**1.04**	**8.93**	1.13	0.92	1.40
Laringe (161)	10	5	1.27	0.38	4.24	3	1.63	0.40	6.71	0	-	-	-	0.88	0.54	1.41
Trachea bronchi e polmoni (162)	144	55	1.05	0.75	1.49	16	0.95	0.55	1.65	5	1.22	0.46	3.26	1.01	0.87	1.16
Vescica (188)	57	32	1.61	0.98	2.64	6	1.02	0.41	2.52	3	1.96	0.53	7.28	1.18	0.94	1.47
Rene (189)	48	33	1.52	0.94	2.48	8	1.15	0.52	2.54	0	-	-	-	1.06	0.86	1.32
Encefalo (191)	43	13	0.74	0.38	1.44	7	1.16	0.49	2.77	2	-	-	-	1.01	0.79	1.30
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	180	61	0.89	0.65	1.23	20	0.95	0.58	1.54	8	1.37	0.63	2.95	0.99	0.87	1.13
Malattie sistema circolatorio (390-459)	5,485	2,167	0.99	0.93	1.04	722	1.03	0.95	1.12	230	1.14	0.99	1.32	0.99	0.97	1.02
Malattie cardiache (390-429)	3,110	1,211	0.97	0.90	1.05	414	1.07	0.96	1.19	134	**1.20**	**1.00**	**1.45**	1.00	0.97	1.03
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	810	309	0.96	0.83	1.11	94	0.89	0.71	1.12	33	1.13	0.77	1.65	0.97	0.92	1.03
Malattie cerebrovascolari (430-438)	1,268	462	0.97	0.86	1.09	177	**1.18**	**1.00**	**1.40**	46	1.09	0.79	1.49	1.00	0.96	1.05
Malattie apparato respiratorio (460-519)	3,996	1,506	1.02	0.96	1.09	530	1.02	0.92	1.12	150	1.05	0.88	1.25	1.00	0.98	1.03
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	1,278	534	1.05	0.94	1.17	167	0.95	0.80	1.12	60	1.08	0.82	1.42	1.00	0.95	1.04
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492;494;496)	493	194	1.05	0.87	1.25	60	0.97	0.73	1.28	29	**1.54**	**1.03**	**2.30**	1.03	0.96	1.11
Asma (493)	360	135	1.07	0.86	1.33	53	1.16	0.85	1.58	15	1.33	0.77	2.29	1.08	0.99	1.18
Malattie apparato digerente (520-579)	5,573	2,173	1.01	0.96	1.07	794	1.06	0.98	1.14	236	1.08	0.94	1.25	1.01	0.99	1.03
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	1,294	604	1.08	0.97	1.20	186	1.03	0.88	1.21	55	1.12	0.84	1.49	**1.05**	**1.00**	**1.09**
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	314	181	1.17	0.96	1.44	38	0.87	0.61	1.24	15	1.13	0.65	1.97	1.03	0.94	1.12
Disturbi ghiandola tiroidea (240-246)	1,150	415	0.99	0.88	1.12	176	1.02	0.86	1.22	52	0.94	0.69	1.27	1.00	0.96	1.05
Popolazione 0-14 anni																
Cause naturali (001-629;677-799)	3,857	1,688	1.05	0.99	1.12	572	1.05	0.96	1.16	139	1.13	0.94	1.35	**1.03**	**1.00**	**1.05**
Tumori maligni (140-208)	15	6	1.29	0.45	3.69	1	-	-	-	0	-	-	-	0.90	0.54	1.50
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	9	3	1.39	0.30	6.41	0	-	-	-	0	-	-	-	0.90	0.46	1.79
Malattie apparato respiratorio (460-519)	1,562	603	1.04	0.94	1.16	216	1.13	0.97	1.31	45	1.06	0.77	1.44	1.03	0.99	1.08
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	632	281	1.09	0.93	1.27	91	1.07	0.85	1.35	32	1.30	0.89	1.89	1.05	0.98	1.11
Asma (493)	232	91	1.14	0.87	1.50	36	1.28	0.88	1.87	5	0.95	0.38	2.41	1.09	0.98	1.22
Malformazioni congenite (740-759)	247	110	1.04	0.79	1.37	33	0.91	0.59	1.38	8	1.02	0.42	2.47	0.97	0.86	1.10
Alcune condizioni morbose di origine perinatale (760-779)	138	56	1.09	0.67	1.76	15	1.13	0.56	2.28	1	-	-	-	0.94	0.76	1.16

* Categoria di riferimento

Tabella 8. Hazard Ratios (HR) di ricovero aggiustati per età, SES, PM_{10}, 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_2S.

a) Uomini

CAUSA (ICD-9-CM)	Concentrazioni di H_2S							
	<50° percentile*	>90° percentile				Trend lineare (per 0.022ug/m^3)		
	n	n	HR	I.C. 95%		HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	20,588	4,567	1.01	0.96	1.06	1.00	0.99	1.01
Tumori maligni (140-208)	2,137	482	0.92	0.79	1.06	0.97	0.94	1.01
Stomaco (151)	102	19	0.75	0.37	1.51	0.96	0.75	1.21
Colon retto (153-154)	227	58	1.08	0.69	1.69	1.00	0.91	1.09
Primitivi del fegato (155)	51	6	**0.26**	**0.07**	**0.96**	0.44	0.19	1.01
Pancreas (157)	41	10	0.62	0.21	1.84	0.81	0.51	1.31
Laringe (161)	54	11	0.72	0.27	1.92	0.68	0.38	1.20
Trachea bronchi e polmoni (162)	349	55	**0.63**	**0.42**	**0.94**	0.98	0.89	1.08
Vescica (188)	275	75	**1.59**	**1.09**	**2.32**	0.96	0.86	1.08
Rene (189)	70	17	0.81	0.37	1.75	0.90	0.67	1.20
Encefalo (191)	35	11	1.12	0.41	3.04	1.02	0.83	1.26
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	192	37	0.82	0.49	1.39	0.90	0.73	1.11
Malattie sistema circolatorio (390-459)	4,897	1,221	1.08	0.98	1.19	1.01	0.99	1.02
Malattie cardiache (390-429)	2,964	739	1.05	0.93	1.19	0.98	0.95	1.01
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	1,236	301	1.00	0.82	1.21	0.98	0.93	1.03
Malattie cerebrovascolari (430-438)	989	260	1.09	0.88	1.35	1.02	0.98	1.06
Malattie apparato respiratorio (460-519)	3,426	828	1.04	0.94	1.16	1.00	0.97	1.02
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	1,098	276	**1.26**	**1.06**	**1.50**	0.99	0.95	1.04
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492;494;496)	562	112	0.91	0.67	1.24	0.98	0.91	1.06
Asma (493)	283	57	1.05	0.74	1.49	0.89	0.72	1.10
Malattie apparato digerente (520-579)	4,947	1,236	0.95	0.87	1.04	1.01	0.99	1.02
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	1,496	320	1.06	0.88	1.27	1.00	0.96	1.04
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	493	66	0.95	0.64	1.40	0.85	0.70	1.02
Disturbi ghiandola tiroidea (240-246)	188	55	0.91	0.57	1.45	1.00	0.91	1.09
Popolazione 0-14 anni								
Cause naturali (001-629;677-799)	3,634	663	1.04	0.94	1.16	1.00	0.97	1.03
Tumori maligni (140-208)	16	2	0.72	0.11	4.54	0.47	0.06	3.72
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	9	2	1.49	0.15	14.52	0.49	0.05	5.11
Malattie apparato respiratorio (460-519)	1,332	225	0.95	0.80	1.13	0.96	0.90	1.03
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	547	114	**1.31**	**1.03**	**1.67**	0.94	0.83	1.05
Asma (493)	239	46	1.05	0.72	1.54	0.90	0.70	1.15
Malformazioni congenite (740-759)	425	94	1.11	0.80	1.53	1.03	0.93	1.13
Alcune condizioni morbose di origine perinatale (760-779)	103	17	0.63	0.23	1.76	1.07	0.84	1.36

* Categoria di riferimento

b) Donne

CAUSA (ICD-9-CM)	Concentrazioni di H_2S							
	<50° percentile	>90° percentile				Trend lineare (per 0.022ug/m^3)		
	n	n	HR	I.C. 95%		HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	21,409	4,618	**1.05**	**1.00**	**1.10**	1.00	0.99	1.01
Tumori maligni (140-208)	1,845	442	0.97	0.83	1.14	1.00	0.97	1.03
Stomaco (151)	67	14	0.77	0.32	1.87	0.90	0.65	1.25
Colon retto (153-154)	215	42	1.01	0.61	1.66	1.04	0.99	1.11
Primitivi del fegato (155)	29	4	0.56	0.11	2.80	1.06	0.96	1.17
Pancreas (157)	39	16	1.21	0.45	3.23	1.01	0.90	1.14
Laringe (161)	8	2	1.26	0.16	10.01	0.98	0.34	2.79
Trachea bronchi e polmoni (162)	93	22	1.01	0.50	2.05	1.03	0.94	1.13
Vescica (188)	44	10	1.93	0.69	5.40	1.08	0.92	1.26
Rene (189)	50	8	1.67	0.60	4.65	0.86	0.47	1.58
Encefalo (191)	26	11	1.67	0.51	5.43	0.96	0.75	1.22
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	120	25	0.74	0.39	1.42	0.93	0.74	1.17
Malattie sistema circolatorio (390-459)	4,239	974	1.04	0.93	1.16	**1.01**	**1.00**	**1.03**
Malattie cardiache (390-429)	2,397	557	1.10	0.95	1.28	1.01	0.98	1.03
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	609	135	0.93	0.70	1.25	0.99	0.93	1.06
Malattie cerebrovascolari (430-438)	958	216	1.05	0.83	1.32	0.99	0.94	1.04
Malattie apparato respiratorio (460-519)	2,629	611	1.12	0.99	1.26	0.99	0.96	1.02
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	946	184	1.04	0.84	1.27	0.99	0.93	1.04
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492;494;496)	377	87	1.24	0.88	1.73	1.00	0.93	1.08
Asma (493)	222	55	**1.62**	**1.12**	**2.34**	1.02	0.94	1.11
Malattie apparato digerente (520-579)	4,041	998	1.05	0.95	1.17	1.00	0.98	1.02
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	1,058	224	**1.27**	**1.03**	**1.57**	0.99	0.94	1.05
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	324	46	1.03	0.64	1.66	1.03	0.96	1.10
Disturbi ghiandola tiroidea (240-246)	766	252	1.12	0.90	1.39	0.95	0.89	1.01
Popolazione 0-14 anni								
Cause naturali (001-629;677-799)	2,807	532	**1.17**	**1.03**	**1.31**	1.01	0.98	1.04
Tumori maligni (140-208)	9	1	-	-	-	0.04	0.00	10.58
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	5	0	-	-	-	0.05	0.00	364.99
Malattie apparato respiratorio (460-519)	1,003	172	1.21	0.99	1.46	1.01	0.96	1.07
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	462	75	1.14	0.86	1.51	1.01	0.94	1.08
Asma (493)	136	32	**1.79**	**1.14**	**2.83**	1.04	0.94	1.15
Malformazioni congenite (740-759)	192	43	0.96	0.56	1.66	1.02	0.94	1.11
Alcune condizioni morbose di origine perinatale (760-779)	92	20	1.69	0.76	3.76	0.89	0.52	1.54

* Categoria di riferimento

VALUTAZIONE EPIDEMIOLOGICA DELLO STATO DI SALUTE DELLA POPOLAZIONE RESIDENTE NELL'AREA DI MALAGROTTA A ROMA

RIASSUNTO

INTRODUZIONE. Malagrotta è un area sub-urbana del comune di Roma localizzata a sud-ovest della città oltre il Grande Raccordo Anulare. Attualmente l'area si estende per circa 50 Km^2 e comprende la grande discarica per rifiuti urbani (RU), la raffineria di prodotti petroliferi, l'inceneritore per rifiuti ospedalieri e farmaci scaduti (rifiuti speciali) dotato di sistema per il recupero energetico (termovalorizzatore), alcuni depositi di idrocarburi, e cave per inerti. Nell'area sono presenti diverse infrastrutture di trasporto ed alcune aree residenziali.

OBIETTIVI. Il presente studio ha lo scopo di analizzare gli effetti dell'esposizione residenziale alla discarica per RU sulla mortalità e sui ricoveri ospedalieri della coorte di persone che vivono entro 7 Km dall'impianto; a causa della contemporanea presenza nella stessa area dell'inceneritore e della raffineria, la valutazione tiene conto anche del concomitante potenziale effetto sulla salute degli inquinanti emessi da questi due impianti.

METODI. Lo studio, condotto con un approccio di coorte retrospettivo, è parte dello Studio Longitudinale di Roma che ha previsto l'arruolamento ed il *follow-up* della popolazione della città dall'ottobre 2001. La coorte in studio è costituita da tutti i residenti entro 7 Km dalla discarica al 2001 con una residenza in loco da almeno 5 anni, seguiti fino al 31 dicembre 2010. Attraverso l'uso di sistemi informativi geografici (GIS) è stato possibile definire l'area di indagine e a ciascun soggetto della coorte sono state attribuite le coordinate geografiche relative alla residenza. Sono stati utilizzati i seguenti indicatori di esposizione: (1) la distanza dagli impianti (considerando la popolazione residente tra 0-2 Km dal perimetro della complessa area impiantistica come popolazione maggiormente esposta e quella residente tra 5-7 Km come popolazione di riferimento); (2) le concentrazioni di diversi inquinanti stimati attraverso il modello di dispersione SPRAY, quali idrogeno solforato (H_2S), polveri sottili (PM_{10}) e ossidi di zolfo (SO_X), come traccianti rispettivamente dell'impronta della discarica, dell'inceneritore e della raffineria. L'impronta è definita come la porzione di territorio, circostante l'impianto, in cui le emissioni che l'impianto produce durante la sua normale attività determinano una distribuzione di concentrazione con caratteristiche definite. Sono state oggetto di indagine la mortalità per i principali tumori e i grandi gruppi di malattie, e i ricoveri ospedalieri per specifiche categorie

nosologiche. L'analisi statistica è stata condotta con un modello di sopravvivenza (modello di Cox) tenendo conto delle caratteristiche individuali, sociali e delle diverse esposizioni ambientali.

RISULTATI. La coorte in studio è composta di 85,559 persone residenti al 2001, di cui il 51.6% donne. Ad ogni soggetto è stato attribuito, sulla base dell'indirizzo di residenza all'inizio dello studio, il livello di esposizione di ciascun inquinante. Per i membri della coorte, la stima dell'esposizione media annuale individuale a H_2S (discarica) è risultata pari a 0.02 µg/m^3 (SD 0.02), ad SO_X (raffineria) è risultata pari a 1.67 µg/m^3 (SD 0.92) e al PM_{10} (inceneritore) è risultata pari a 0.02 ng/m^3 (SD 0.02). Le persone che vivono in zone con più alta concentrazione di H_2S, SO_X o PM_{10} tendono ad avere un livello di istruzione più basso, ad essere in misura maggiore lavoratori manuali ed ad avere una posizione socio-economica inferiore rispetto al gruppo di soggetti considerati come riferimento.
Coloro che vivono in prossimità degli impianti presentano (sia tra gli uomini che tra le donne) un quadro di mortalità generale relativamente simile a quello della popolazione di riferimento. Fanno tuttavia eccezione le patologie dell'apparato cardiovascolare (donne) e dell'apparato respiratorio (uomini) che sono aumentate tra i residenti nell'area più prossima agli impianti. Per le patologie tumorali, si osserva tra le donne un eccesso di tumore della laringe e della mammella nelle zone più prossime, mentre tra gli uomini si osserva una riduzione del rischio per il tumore del polmone. I residenti (uomini e donne) più prossimi agli impianti ricorrono più frequentemente alle cure ospedaliere (+8%), in particolare per malattie circolatorie, urinarie e dell'apparato digerente. Tra gli uomini si è osservato un aumento dei ricoveri per patologie della tiroide.
Per quanto riguarda i risultati relativi alle concentrazioni dei singoli inquinanti, si è riscontrata nei gruppi più esposti ad H_2S (discarica) e SO_X (raffineria) una maggiore frequenza di tumori della laringe e della vescica (mortalità e ricoveri) nelle donne residenti. Limitatamente ai ricoveri, si è osservata un'associazione tra H_2S e malattie dell'apparato circolatorio (donne). L'SO_X, tracciante della raffineria, è risultato associato a malattie dell'apparato respiratorio (uomini) e tumore della laringe tra le donne. L'esposizione a PM_{10} (inceneritore) è risultata associata prevalentemente a patologie dell'apparato respiratorio e a tumore del pancreas (uomini) e a tumore della laringe, del fegato e della mammella (donne).

CONCLUSIONI. Lo studio della coorte dei residenti nell'area di Malagrotta ha evidenziato un quadro di mortalità tra le persone più esposte in gran parte paragonabile con quello osservato nella popolazione di riferimento. Tuttavia, sono stati riscontrati, sia per la mortalità e soprattutto per le ospedalizzazioni, alcuni eccessi di rischio degni di nota, in particolare per malattie respiratorie, cardiovascolari e per alcune forme tumorali. Alcune delle associazioni emerse, considerando la distanza dagli impianti o la concentrazione stimata degli inquinanti scelti come traccianti (H_2S, SO_X e PM_{10}), sono potenzialmente attribuibili all'inquinamento prodotto nei passati decenni dagli impianti industriali presenti nell'area, ma è molto difficile determinare quali siano le emissioni (e di conseguenza gli impianti) che ne sono maggiormente responsabili.

INTRODUZIONE

Malagrotta è un area sub-urbana del comune di Roma localizzata a sud-ovest della città oltre il Grande Raccordo Anulare. Attualmente l'area si estende per circa 50 Km^2 e comprende la grande discarica per rifiuti urbani (RU), la raffineria di prodotti petroliferi, l'inceneritore per rifiuti ospedalieri e farmaci scaduti (rifiuti speciali) dotato di sistema per il recupero energetico (termovalorizzatore), alcuni depositi di idrocarburi e cave per inerti. Nell'area sono presenti diverse infrastrutture di trasporto ed alcune aree residenziali.

A partire dalla metà degli anni '60, nell'area di Malagrotta sono progressivamente entrati in attività i tre importanti impianti di tipo industriale, la discarica, l'inceneritore per rifiuti urbani, poi trasformato in termovalorizzatore, e la raffineria.

Negli ultimi decenni, la discarica di Malagrotta si è configurata come uno dei più grandi siti europei (15 ettari di superficie, 1.46 milioni di tonnellate di RU/anno) e ha ricevuto rifiuti sia dal comune di Roma che da quello di Fiumicino. La discarica è attualmente in funzione anche se ha raggiunto la sua capacità massima e sono annessi impianti di trattamento meccanico biologico, un gassificatore, un impianto di recupero ed utilizzo di biometano, e un impianto di inertizzazione del percolato.

L'inceneritore per rifiuti speciali di Ponte Malnome (altezza della ciminiera 80 m, capacità di 60 t/giorno di rifiuti ospedalieri e farmaci scaduti provenienti rispettivamente dalle strutture sanitarie e dalla specifica raccolta differenziata effettuata dall'azienda AMA a Roma; tasso di emissioni di NO_X 14.58 t/a) è in funzione dal 1996, data in cui il nuovo impianto ha sostituito un vecchio inceneritore di RU che è stato in opera dal 1962 al 1985, quando fu chiuso per mancato rispetto delle norme ambientali dell'epoca. L'impianto è attualmente dotato di un sistema di recupero energetico con produzione di circa 3 MW di energia elettrica.

La Raffineria di Roma (97 ettari di superficie, capacità 4.3 milioni ton/anno) è stata costruita nel 1965 ed è il centro principale per la raffinazione di prodotti petroliferi dell'Italia centrale. La raffineria ha il proprio stabilimento di lavorazione a Malagrotta e una stazione operativa a Fiumicino e due piattaforme fisse di attracco navi/cisterna

situate a circa 6 Km dalla costa, collegate a terra da oleodotti sottomarini; la stazione operativa è a sua volta collegata con la raffineria a mezzo di oleodotti terrestri.

La valutazione di impatto sulla salute della popolazione residente nei pressi dei siti di smaltimento dei rifiuti, in particolare per inceneritori e discariche, è stata oggetto di diverse revisioni sistematiche. Per quanto riguarda gli inceneritori/termovalorizzatori, sono stati suggeriti eccessi di rischio per alcune forme tumorali (in particolare linfoma non-Hodgkin e sarcoma dei tessuti molli) tra le persone che hanno vissuto nei pressi di impianti di incenerimento dei rifiuti, soprattutto impianti di vecchia generazione; le evidenze sono invece più controverse per quanto concerne i rischi associati alla residenza nei pressi di discariche.[1-4] Alcuni studi hanno documentato delle deboli associazioni tra residenza nei pressi di discariche controllate e rischio per la salute. Tuttavia, nella maggior parte degli studi disponibili, in mancanza di informazioni dettagliate sulla esposizione a sostanze tossiche, la distanza dalla discarica è stata utilizzata come indicatore dell'esposizione. In uno studio canadese[5] è stato osservato un eccesso di rischio tra gli uomini residenti vicino alla discarica per linfoma non-Hodgkin, tumore dello stomaco, dei reni e del pancreas. Nello studio condotto su 9,565 discariche in Gran Bretagna[6], Jarup non ha evidenziato eccessi di cancro nella popolazione residente oggetto dell'indagine. In un precedente studio finlandese, invece, era stato riscontrato un eccesso nel numero di casi di tumore del pancreas e della pelle tra gli uomini residenti in abitazioni costruite su un'area di scarico di rifiuti industriali e domestici.[7] 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, sia in termini di mortalità che di ricorso ai ricoveri ospedalieri tra le due popolazioni. In definitiva, 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.

Anche gli studi disponibili sull'effetto degli impianti petrolchimici sulla salute della popolazione residente non forniscono al momento risultati univoci. Ad oggi, non è emersa una chiara evidenza di associazione tra il vivere in prossimità di una raffineria

di prodotti petroliferi e l'incidenza di tumore o la mortalità per causa della popolazione esposta.[9-14] Solo in Inghilterra è stato documentato un eccesso di mortalità per tumore dei polmoni tra i residenti in prossimità di impianti industriali, soprattutto tra le donne.[15]

Come già detto, a causa delle difficoltà nel misurare l'esposizione a diverse fonti inquinanti, la maggior parte degli studi sulla salute dei residenti in aree ad alto rischio ambientale ha utilizzato la distanza dalla sorgente come indicatore di esposizione.[16-17] Tuttavia, indagini recenti[12,18-19] hanno introdotto un approccio innovativo, che utilizza i modelli di dispersione degli inquinanti per stimarne la concentrazione in una determinata porzione di territorio e permette di valutare il livello di esposizione della popolazione con maggiore precisione. Questo approccio fornisce una valutazione migliore dell'esposizione rispetto ad altri studi che si basano sulla distanza dalla sorgente, come suggerito di recente dall'Agenzia europea dell'ambiente.[20] In sostanza, il modello di dispersione è utile per costruire l' "impronta" (*footprint*) del complesso industriale che può essere usata per lo studio epidemiologico.

Un ulteriore problema riguarda il modello di studio epidemiologico e la modalità di raccolta dei dati sanitari. Molti studi hanno usato i dati sanitari a livello aggregato rapportandoli ad una popolazione definita (il comune, la sezione di censimento) limitando di fatto la possibilità di tenere conto in fase di analisi del tempo-persona a rischio e del ruolo di fattori individuali quali il livello socio-economico.[21-22] Ranzi et al. hanno recentemente utilizzato un approccio di coorte retrospettivo[18] per valutare gli effetti sulla salute delle emissioni da due inceneritori. In questo studio, per stimare le concentrazioni dell'inquinante è stato utilizzato un modello di dispersione gaussiano, ADMS, tutti i soggetti sono stati seguiti a livello individuale ed è stato tenuto conto del livello socio-economico della sezione di residenza degli individui della coorte.

In risposta alle preoccupazioni espresse dai residenti della comunità di Malagrotta circa i possibili rischi derivanti dagli impianti industriali, negli anni novanta sono stati effettuati alcuni studi con l'obiettivo di valutare l'effetto delle esposizioni sia sulla salute dei lavoratori impiegati nei diversi contesti industriali dell'area sia su quella dei residenti.[23-25] I risultati degli studi sui lavoratori negli impianti di incenerimento e nella raffineria hanno indicato un effetto nocivo legato all'esposizione a sostanze inquinanti (eccesso di mortalità per tumore dello stomaco tra i lavoratori dell'inceneritore;

eccessi di mortalità per tumore del polmone, della vescica, di tumori cerebrali e mieloma multiplo tra i lavoratori della raffineria). Tuttavia, lo studio di mortalità sulla popolazione residente (per il periodo 1987-1993) condotto con un approccio "ecologico" (le unità di osservazione erano le sezioni di censimento) non ha indicato alcun eccesso nelle condizioni morbose esaminate al variare della distanza, con l'unica eccezione della mortalità per tumore della laringe che risultava in eccesso tra gli uomini residenti nelle più immediate vicinanze degli impianti. Tale studio è stato replicato con le stesse modalità nel 2007 con riferimento ai dati di mortalità e dei ricoveri ospedalieri del periodo 1997-2004. Anche in questo caso, l'indagine non dimostrava alterazioni importanti nella mortalità e nella morbosità nell'area di Malagrotta e nel territorio circostante gli impianti, osservando tuttavia un debole aumento della mortalità per tumore della laringe.

Il presente studio ha lo scopo di analizzare gli effetti dell'esposizione residenziale alla discarica per RU sulla mortalità e sui ricoveri ospedalieri della coorte di persone che vivono entro 7 Km dall'impianto; a causa della contemporanea presenza nella stessa area dell'inceneritore e della raffineria, questa valutazione terrà conto anche del concomitante potenziale effetto sulla salute dei residenti degli inquinanti emessi da questi due impianti.
Il progetto ha usato come indicatori di esposizione sia la distanza dagli impianti sia i risultati derivanti dai modelli di dispersione che hanno stimato la concentrazione di idrogeno solforato (H_2S) come "impronta" della discarica, delle polveri sottili (PM_{10}) per l'inceneritore e gli ossidi di zolfo (SO_X) per quanto riguarda la raffineria. Lo studio, condotto con un approccio di coorte retrospettivo, è stato innestato all'interno dello Studio Longitudinale di Roma[22] che ha previsto l'arruolamento ed il *follow-up* della popolazione di Roma dall'ottobre 2001.

METODI

Area in studio

Le localizzazioni della discarica di rifiuti urbani, dell'inceneritore e della raffineria sono stati identificate utilizzando il software GIS (Geographic Information System). Per definire il perimetro della discarica sono state utilizzate le carte tecniche regionali (CTR), in scala 1:5000, mentre per definire la posizione della raffineria e

dell'inceneritore dei rifiuti sono state utilizzate le coordinate geografiche che identificano la posizione dei rispettivi camini. Tutte le informazioni sono state proiettate secondo il sistema di riferimento WGS84_UTM33N (il sistema geodetico mondiale del 1984 con la proiezione universale della Trasversa di Mercatore relativa alla zona 33Nord). Sulla base della letteratura disponibile[27] e dai modelli di dispersione utilizzati (vedi sotto) si è deciso di definire l'area in studio per il caso di Malagrotta come quella compresa in un raggio di 7 Km dalla discarica. Questa decisione, che ha allargato l'area rispetto a quanto effettuato nello studio regionale su tutte le discariche (0-5 Km), permette una maggiore numerosità di popolazione di confronto in considerazione delle molteplici fonti di esposizione presenti.

Indicatori di esposizione per gli impianti considerati

La valutazione dell'esposizione della popolazione residente è stata effettuata con due modalità, considerando:

- la distanza della residenza dal perimetro della discarica, costruita utilizzando il software ArcGIS, che ha permesso di definire 7 cerchi di raggio 1 Km, intorno al perimetro fino a definire l'area di interesse (0-7 Km);
- l'esposizione agli inquinanti che definiscono l'impronta degli impianti: per la discarica l'idrogeno solforato (H_2S), per la raffineria gli ossido di zolfo (SO_X) e per l'inceneritore il particolato atmosferico (PM_{10}).

Valutazione dell'esposizione: modelli di dispersione

Il modello lagrangiano a particelle SPRAY ver.5 (Arianet srl, Milano, Italia) è stato utilizzato per simulare l'impatto delle diverse fonti di emissione nell'area in studio. Il modello simula il trasporto, la dispersione e la ricaduta degli inquinanti emessi da diverse fonti su terreni complessi e con la presenza di ostacoli, seguendo il percorso di particelle fittizie nel flusso turbolento dell'atmosfera. SPRAY è in grado di considerare situazioni complesse, come la presenza di brezza dell'atmosfera, forti disomogeneità meteorologiche non-stazionarie, basse condizioni di calma di vento e ricircolo dell'aria.[28-29] La scelta di un modello lagrangiano a particelle, invece di un modello gaussiano come ADMS, consente di utilizzare al meglio i parametri micrometeorologici e fornisce delle stime migliori in situazioni convettive per la sua capacità di tenere conto della turbolenza che influenza l'addensamento e la concentrazione degli inquinanti.

Per stimare la dispersione delle concentrazioni degli inquinanti al suolo è stato necessario utilizzare i seguenti parametri: la orografia, i dati meteorologici mensili (in particolare le componenti del vento e della temperatura), le caratteristiche della turbolenza nella bassa atmosfera e la distribuzione oraria spaziale (orizzontale e verticale) delle emissioni inquinanti. L'ultimo parametro utilizzato è costituito dalle caratteristiche della singola fonte e dai flussi di massa (g/h). Questi dati riguardano le emissioni del 2005, sono su base annua e sono stati forniti da ISPRA.[26] Per ciascuna fonte, è stato scelto come marker di esposizione un determinato inquinante: l'H_2S (l'idrogeno solforato) per la discarica, l'SO_X (ossidi di zolfo) per la raffineria e il PM_{10} per il termovalorizzatore (micro particelle, il cui diametro aerodinamico è uguale o inferiore a 10 µm, ovvero 10 millesimi di millimetro). E' stato inoltre definito un dominio di indagine, pari ad un quadrato 30x30 Km, per la stima delle concentrazioni degli inquinanti al suolo e una risoluzione di 500 metri in linea con i campi meteorologici utilizzati. Di conseguenza, il singolo valore di concentrazione è stato stimato come media annuale in una cella di 500x500 m.

I valori di emissione orari di PM_{10} (inceneritore) e SO_X (raffineria) sono stati ottenuti assumendo una distribuzione uniforme nel tempo e utilizzando le caratteristiche specifiche dei camini: il diametro interno, la percentuale di rilascio di fumi, la temperatura e la velocità dei fumi.

Le emissioni di H_2S dalla discarica sono state generate utilizzando il Landfill Gas Emissions Model, sviluppato dalla US Environmental Protection Agency.[31] E' stata costruita una griglia regolare che approssima l'area della discarica con una risoluzione di 125x125 m e sono stati calcolati i tassi di emissione di H_2S per ogni cella. I parametri utilizzati sono stati: il tempo di attività, e quindi le informazione relative alle date di apertura e chiusura di ciascun settore della discarica, la capacità, in termini di tonnellate di rifiuti e il tasso di ricevimento dei rifiuti. I tassi di emissione così calcolati sono stati considerati come dati di input per il modello lagrangiano.

Sono state così prodotte le mappe di concentrazione media annuale per ciascun inquinante scelto come tracciante degli impianti in studio. L'uso combinato della distanza geografica e delle concentrazioni stimate fornisce un quadro più completo dell'impatto del sito sull'ambiente e sull'uomo. Le concentrazioni di H_2S, PM_{10} e SO_X definiscono l'inquinamento della matrice aria, mentre la distanza può essere

considerata un indicatore anche dell'inquinamento delle matrici acqua e suolo, sotto l'ipotesi che la contaminazione avvenga maggiormente nella zona limitrofa agli impianti stessi.

Arruolamento della coorte e procedure di follow-up

La coorte è stata selezionata dallo Studio Longitudinale Romano (2.5 milioni di residenti nell'ottobre 2001). Il disegno dello studio e le sue principali caratteristiche sono state presentate in un articolo pubblicato da Cesaroni et al. nel 2010.[22] Sono stati selezionati tutti i residenti nell'area dei 7 Km dalla discarica di Malagrotta, che hanno vissuto nello stesso indirizzo da almeno 5 anni prima della data di arruolamento fissata al 31 ottobre 2001.

Tutti i soggetti arruolati nella coorte sono stati seguiti per quanto riguarda il proprio stato in vita fino al 31 dicembre 2010. I soggetti emigrati dal comune di residenza in un altro comune sono stati considerati vivi fino al momento della emigrazione, e il *follow-up* è dunque cessato al momento della migrazione stessa. In sostanza, i soggetti della coorte sono stati considerati a rischio fino al momento del decesso o di emigrazione dal comune di Roma o fino all'ultimo giorno di *follow-up*, il 31 dicembre 2010. L'attribuzione delle informazioni sanitarie, mortalità e ricorso alle cure ospedaliere, alla coorte è stata effettuata con procedure di *record-linkage*, usando codici individuali anonimi nel rispetto delle leggi sulla privacy.

E' importante sottolineare che la coorte dello studio longitudinale romano non tiene conto delle nascite e delle immigrazioni avvenute dal 2001 al 2010, dunque la coorte di residenti non subisce nessun incremento, è una coorte chiusa. Per questo motivo questo studio non valuta lo stato di salute dei bambini e delle bambine, nati e residenti nell'area di Malagrotta e non considera le persone che hanno preso la residenza nell'area successivamente all'ottobre 2001. Questa evidente limitazione è tuttavia bilanciata dalla ricchezza delle informazioni individuali disponibili per la coorte dello Studio Longitudinale di Roma.

Ad ogni soggetto della coorte è stato assegnato un valore di H_2S (discarica), SO_X (raffineria) e PM_{10} (inceneritore), corrispondenti alle concentrazioni stimate dal modello di dispersione per la porzione di territorio di residenza del soggetto.

Esiti in studio

Mortalità

Le informazioni sulle cause di morte provengono dal Registro Nominativo delle Cause di Morte (ReNCAM) della Regione Lazio. Sono stati considerati i grandi gruppi delle cause di morte e i seguenti tumori di sedi specifiche (codici ICD IX tra parentesi) per i quali sono state ipotizzate delle associazioni con le esposizioni in studio: stomaco (151), colon-retto (153, 154, 159.0), tumori primitivi del fegato (155.0), pancreas (157), laringe (161), polmone (162), mammella (174) vescica (188), rene (189), cervello e altre parti non specificate del sistema nervoso (191-192) cervello (191) e tumore del sistema linfatico ed emopoietico (200-208).[2,14,19,23,28-35]

Ospedalizzazioni

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). Attraverso una procedura di *record-linkage* 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 la patologia di interesse. I ricoveri per cause naturali (001-629; 677-799) escludono i ricoveri per traumatismi e per parto.

Altre informazioni individuali e fattori di confondimento

A ciascun soggetto sono state attribuite le seguenti caratteristiche individuali: livello di istruzione (alto: università, medio: scuola superiore, basso: scuola dell'obbligo), occupazione (lavori non manuali, lavori manuali, pensionato, non lavoratore), stato civile (sposato, single, separato/divorziato, vedovo), nazionalità (italiana, altro) e un indicatore di livello socio-economico (SES) basato sulla sezione di censimento di residenza (alto, medio, basso).[40]

Oltre alle caratteristiche di esposizione in esame, sono state considerate altre informazioni ambientali che possono essere considerate fattori di confondimento per le relazioni in studio, in particolare la vicinanza a strade ed autostrade trafficate, l'inquinamento da traffico stradale diffuso e il contributo all'inquinamento proveniente

dai mezzi di trasporto di rifiuti verso la discarica. Per ognuno di questi fattori sono stati creati degli indicatori come di seguito descritto.

Sono stati calcolati per ogni soggetto della coorte due indicatori di inquinamento da traffico veicolare: la presenza/assenza di autostrada nel raggio di 500 m dalla residenza e la presenza/assenza di strade principali in 150 m dalla residenza. Per classificare la tipologia di strade sono state utilizzate 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).

Sono state stimate per ciascun indirizzo di residenza le concentrazioni di NO_2 (μg/m^3) derivante dal traffico stradale attraverso un modello di regressione *land use* (LUR) sviluppato per Roma nel 2007 a partire da misurazioni *ad hoc* effettuate in 78 punti nell'arco di tre periodi di una settimana, ciascuno in tre stagioni differenti (inverno primavera e autunno).[41] Il modello LUR include le seguenti variabili: altitudine (m), posizione geografica (coordinate x,y), distanza dal centro della città, grandezza della sezione di censimento e metri di strada ad alto traffico in un area intorno a 150 m (R^2=0.704). L'NO_2 così stimato è stato suddiviso in tre livelli: basso (NO_2<= 30), medio (30<NO_2<= 40) e alto (NO_2>40).

L'ultimo fattore considerato come possibile confondente è la concentrazione di NO_2 attribuibile al traffico relativo al trasporto di RU. Per i fattori emissivi è stato preso in considerazione un automezzo pesante con motore diesel tipo EURO2. Sono stati stimati tutti i tragitti che hanno come origine i centroidi delle sezioni di censimento di Roma e come destinazione (dopo il processo di recupero e pre-trattamento) la discarica di Malagrotta. I flussi di mezzi pesanti sono quelli relativi al 2008 e sono stati stimati tenendo conto delle seguenti informazioni: produzione di rifiuto per abitante, *network* stradale, tipologia di strada e velocità media. E' stato ipotizzato un percorso minimo per ciascun tragitto dal punto di raccolta (il centroide della sezione di censimento) al punto di smaltimento del rifiuto attribuendo un peso più alto alle strade locali ed un peso più basso alle strade di grande importanza; in questo modo sono stati privilegiati gli spostamenti su strade ad alto scorrimento. Per ogni tratto stradale, è stata stimata la emissione di NO_2 in un secondo per m^2 e di seguito è stata stimata la concentrazione (μg/m^3) con un griglia di 100 m^2 lungo le strade attraverso

il modello di dispersione atmosferico ADMS-Urban utilizzando i dati meteo del 2008-2009 (ulteriori dettagli in http://www.integrated-assessment.eu/content/health_effects_waste_management). Ad ogni soggetto, in base alla propria posizione geografica, è stato attribuito un valore corrispondente di NO_2 da traffico pesante per trasporto rifiuti.

Analisi dei dati

L'esposizione alle diverse fonti di inquinamento è stata stimata in corrispondenza dell'indirizzo di residenza dell'individuo all'inizio del *follow-up*. La popolazione in studio è stata considerata a rischio a partire dall'età alla data di arruolamento, fino all'età di uscita dallo studio, avvenuta a causa dell'evento morte o a causa di migrazione, ossia di uscita dal comune di Roma o per fine *follow-up*. Sono stati dunque calcolati gli anni-persona di osservazione e i tassi grezzi di mortalità ed ospedalizzazione.

Sono state descritte le caratteristiche socio-demografiche ed ambientali della popolazione in studio per distanza e per livelli di esposizione. Sono state considerate per ogni inquinante (H_2S, discarica, SO_X, raffineria e PM_{10}, inceneritore) tre categorie: sotto il 50° percentile, tra il 50° e il 90° percentile e oltre il 90° percentile della distribuzione di ciascuna sostanza inquinante.

Successivamente è stata valutata l'associazione tra la residenza nei pressi dei tre impianti e la storia di mortalità e di ospedalizzazioni dell'intera coorte sulla base di due approcci per la misura dell'esposizione:

- la distanza dagli impianti, nell'ipotesi che una residenza in prossimità degli impianti costituisca un fattore di rischio per la salute; i soggetti della coorte sono stati suddivisi in diverse fasce caratterizzate da una distanza crescente dagli impianti (residenti entro il raggio di 1 Km e tra 1 e 2 Km, *gruppo degli esposti* vs residenti tra 5 e 7 Km, *gruppo di riferimento*).

- l'impronta di H_2S, PM_{10} e SO_X ottenute dai modelli di dispersione. I soggetti della coorte sono stati classificati sulla base della distribuzione della concentrazione di ciascuno degli inquinanti scelti come traccianti, registrata al loro indirizzo di residenza.

L'analisi della sopravvivenza, attraverso il modello di Cox, è stata effettuata sia per la mortalità che per le persone ospedalizzate.

Confronto interno nella coorte per distanza dagli impianti

La mortalità per causa e la frequenza di ospedalizzazione dei *gruppi degli esposti* (i residenti nelle fasce 0-1 Km e 1-2 Km) sono stati direttamente confrontati con quelli del *gruppo di riferimento* (residenti nella fascia distante 5-7 Km). La distanza (da 0 a 7 Km) è stata inoltre considerata come variabile continua (test per il trend) in modo da valutare se al diminuire della distanza (per ogni Km) dagli impianti aumenta il rischio di mortalità o ricovero. I confronti interni sono stati eseguiti con analisi di sopravvivenza di Cox (vedi dopo).

Confronto interno alla coorte per livello di esposizione ad inquinanti

L'analisi è stata condotta con il modello di Cox considerando come variabile di esposizione per ogni inquinante (H_2S, discarica, SO_X, raffineria e PM_{10}, inceneritore) tre categorie: sotto il 50° percentile, tra il 50° e il 90° percentile e oltre il 90°. I soggetti al di sopra del 90° percentile sono stati confrontati con quelli al di sotto del 50° percentile. I livelli di esposizione sono stati inoltre considerati come variabile continua (test per il trend) in modo da valutare se all'aumentare della concentrazione aumentasse il rischio di mortalità o ricovero. A causa del diverso ordine di grandezza degli indicatori di esposizione è stato stimato l'effetto lineare dell'esposizione per un incremento pari alla differenza tra il 95° e il 5° percentile della distribuzione di ciascun inquinante.

Il modello di Cox

Le associazioni sono state stimate con un modello di regressione di Cox, specifico per genere. La variabile temporale considerata era l'età. Per tenere in considerazione anche il possibile andamento temporale dei rischi sono stati definiti tre periodi di calendario (2001-2004, 2005-2008, 2009-2010) e il modello di regressione è stato stratificato per questa variabile. Il modello è in grado di stimare i Rischi Relativi (o Hazard Ratio, HR) dopo aver considerato come possibili fattori di confondimento tutte le covariate precedentemente elencate (istruzione, occupazione, stato civile, luogo di nascita, posizione socio-economica, esposizione a strade principali, autostrade, NO_2 da traffico e NO_2 da traffico pesante per trasporto rifiuti). Per ogni confronto, è stato utilizzato un modello più parsimonioso costruito utilizzando una strategia di

eliminazione *backward* delle variabili con un valore di p>0.20. Il modello finale include, quindi, le seguenti variabili: istruzione, occupazione, stato civile, nazionalità, indicatore di posizione socio-economica e la concentrazione di NO_2 (dal modello LUR).
E' stato inoltre valutato l'effetto della potenziale autocorrelazione spaziale dei dati: questo fenomeno si verifica se le persone che sono geograficamente vicine sono più simili rispetto a quelle lontane e quindi tendono a sperimentare tassi di mortalità o morbosità più simili. Non tenere conto di questo effetto potrebbe falsare le stime di rischio. A questo scopo, ad ogni indirizzo è stato associato un valore che identifica la posizione nello spazio, ossia un numero corrispondente ad una cella di 500x500 m, quindi il modello di Cox è stato esteso inserendo il valore casuale dell'intercetta dato dalla posizione dell'individuo.

I numerosi confronti eseguiti in questo studio hanno testato delle ipotesi di associazione tra esposizione ed esito in gran parte stabilite *a priori*. Tuttavia, è stato valutato il possibile ruolo dei test multipli nelle analisi condotte attraverso il calcolo del *q-value*, che tiene conto del numero di test eseguiti. Sono stati calcolati sia il *p-value* sia il *q-value* ad una coda al fine di rilevare solo gli eccessi di rischio. Il *p-value* è stato calcolato direttamente dalla analisi di Cox mentre il *q-value* è stato stimato con il metodo di Simes per l'aggiustamento dei confronti multipli indipendenti.[42]

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

Dati descrittivi

La figura 1 (a) rappresenta l'area in studio e la distribuzione geografica della residenza della coorte arruolata. Le figure 1 (b), (c) e (d) rappresentano i risultati del modello di dispersione per ciascun inquinante e l'impronta della discarica (H_2S), della raffineria (SO_X) e dell'inceneritore (PM_{10}). La dispersione degli inquinanti nell'area in studio è influenzata principalmente dall'altezza della sorgente emissiva e dalla direzione prevalente (in direzione sud-ovest nord-est). L'area interessata dai valori più alti di concentrazione di H_2S è la discarica stessa, con una superficie circostante di

forma regolare, leggermente allungata in direzione sud-ovest. La dispersione dell'SO_X, tracciante della raffineria, è il risultato di un modello in cui sono stati considerati molteplici fonti puntuali, perché la raffineria possiede diversi camini di altezza variabile: da 25 metri (responsabile di una dispersione più locale) a 72 metri (responsabile di una dispersione di più ampio raggio). L'impronta della raffineria appare più ampia di quella della discarica. Infine, per quel che riguarda l'inceneritore di rifiuti speciali, l'elevata altezza del camino (80 metri) determina un'ampia dispersione delle polveri e, a causa dei venti dominanti, l'area a sud-ovest del camino è quella dove si osserva la deposizione maggiore con aree a più alta concentrazione. E' da rilevare, tuttavia, che mentre i livelli di concentrazione assoluta sono apprezzabili per H_2S e SO_X, i livelli stimati di PM_{10} sono estremamente bassi, tali da costringere ad usare i nanogrammi/m^3 invece dei microgrammi/m^3 per poter apprezzare le differenze.

La coorte in studio è composta di 85,559 persone residenti al 2001, di cui il 51.6% donne. Ad ogni soggetto è stato attribuito, sulla base dell'indirizzo di residenza all'inizio dello studio, il livello di esposizione di ciascun inquinante. La figura 2 e la tabella 1 mostrano la distribuzione di frequenza della popolazione in funzione dei livelli di esposizione a H_2S, SO_X e $PM_{10.}$ La maggior parte della popolazione è esposta a concentrazioni basse di questi inquinanti con una stima dell'esposizione media annuale di H_2S di 0.02 µg/m^3 (SD 0.02), *range* da 0.005 fino a 0.62 µg/m^3, un *range* interquartile (IQR) pari a 0.01 µg/m^3 e una differenza tra il 95° e il 5° percentile di 0.04 µg/m^3. L'esposizione media annua per SO_X, il tracciante scelto per la raffineria, è di 1.67 µg/m^3 (SD 0.92) con un *range* da 0.68 fino a 12.75 µg/m^3, con un IQR pari a 0.88 µg/m^3, e un *range* 95°-5° pari a 2.88. Per il PM_{10} la media annuale è di 0.02 ng/m^3 (SD 0.02), con un *range* da 0.001 fino a 0.16 ng/m^3 (IQR 0.02) e un *range* 95°-5° pari a 0.03. Il cut-off per il 90° percentile superiore è pari a 0.0301 µg/m^3 per H_2S, 2.526 µg/m^3 per SO_X, e 0.0311 ng/m^3 per il PM_{10}. Gli indicatori di esposizione sono molto correlati tra loro: il coefficiente di correlazione tra il PM_{10} ed SO_X è di 0.81, tra PM_{10} e H_2S è 0.75, e tra SO_X e H_2S è di 0.78.

In aggiunta all'inquinamento prodotto dagli impianti industriali, la qualità dell'aria nella zona di Malagrotta è fortemente influenzata dal traffico stradale. L'area in studio si trova infatti al centro di un importante nodo stradale: il Grande Raccordo Anulare di Roma, l'autostrada Roma-Fiumicino e l'autostrada Roma-Civitavecchia. Insistono

inoltre nell'area di Malagrotta anche altre importanti strade ad alto scorrimento (ad esempio: la via Aurelia). La figura 3 mostra, in rapporto ai soggetti della coorte, la posizione delle autostrade (a), delle strade ad alto traffico (b), la concentrazione di NO_2 da traffico stradale (c) e da trasporto dei rifiuti (d).

La tabella 2 presenta le caratteristiche principali dei soggetti in studio in base a tre categorie di esposizione per ciascuno degli inquinanti in studio: il gruppo di coloro che hanno valori di esposizione sotto il 50° (considerati come *gruppo di riferimento*), coloro che hanno un valore di esposizione sopra il 90° della distribuzione (*gruppo degli esposti*), e il gruppo intermedio (esposti a concentrazioni comprese tra il 50° e il 90° percentile). Per ciascun inquinante la distribuzione di genere, età, luogo di nascita e stato civile è piuttosto simile tra le diverse categorie di esposizione. Tuttavia, le persone che vivono in zone con alta concentrazione di H_2S, SO_X o PM_{10} tendono ad avere un livello di istruzione più basso, ad essere lavoratori manuali e ad avere bassa posizione socio-economica rispetto al gruppo di soggetti considerati come riferimento. Inoltre, i soggetti che rientrano nella categoria di esposizione più alta hanno una maggiore probabilità di vivere più vicini (entro 500 m) alle autostrade, ma più distanti dalle strade ad alto traffico. Non si segnala nessuna particolare differenza tra le categorie per esposizione a NO_2 da traffico veicolare o NO_2 legato al traffico dei rifiuti verso l'area.

Alla fine del *follow-up* (31 dicembre 2010) si sono osservati 6,187 decessi nella popolazione esaminata e 8,975 persone sono risultate emigrate. Sono stati stimati 725,591 anni-persona di osservazione. Lo stato in vita dei soggetti della coorte non mostra differenze tra gruppo degli esposti e gruppo di riferimento, per ciascuno degli inquinanti in studio.

Nel periodo in studio nella coorte dei residenti entro 7 Km dagli impianti in studio si sono verificati 5,878 decessi (3,233 uomini e 2,645 donne) per cause naturali (tutte le cause eccetto i traumatismi) (38.8% per tumori maligni, 38.1% per patologie a carico dell'apparato cardiovascolare e 6.5% per malattie dell'apparato respiratorio). Per quanto riguarda le ospedalizzazioni, gli individui della coorte hanno avuto, nel periodo in studio, 45,874 ricoveri per cause naturali (non sono in studio i traumatismi e i parti).

Vengono di seguito illustrati i risultati della analisi di mortalità e delle persone ricoverate; sia per la mortalità che per la morbosità, i risultati verranno presentati per distanza e per livelli di esposizione ad H_2S (discarica), SO_X (raffineria) e PM_{10} (inceneritore).

Analisi della mortalità: confronto interno per distanza

La tabella 3 mostra i risultati dell'analisi della mortalità in cui si considera come esposizione la distanza dalle fonti. La tabella riporta i risultati ottenuti considerando la distanza come variabile categorica (0-1, 1-2, 0-2 vs 5-7 Km), nell'ultima colonna sono indicati gli Hazard Ratio (HR) dell'aumento del rischio al diminuire della distanza dagli impianti (trend lineare per 1 Km). Vengono illustrati, separatamente per gli uomini (a) e per le donne (b), il numero di decessi osservati, gli Hazard Ratio (HR) e i rispettivi intervalli di confidenza (IC95%) al variare della distanza.

Uomini

A parità di età, livello di istruzione, tipo di occupazione, condizione socio-economica e livelli di inquinamento del luogo di residenza (ottenuti considerando i livelli di NO_2 da traffico stradale), il gruppo dei residenti nelle immediate vicinanze degli impianti (0-2 Km) presenta una mortalità generale e specifica per causa simile a quella della popolazione di riferimento (residenti nella fascia 5-7 Km). L'analisi del trend per distanza evidenzia tuttavia un aumento del rischio di mortalità per malattie ischemiche del cuore (+3%) e di malattie dell'apparato respiratorio (+8%) all'avvicinarsi agli impianti (eccessi al limite della significatività statistica). Si segnala, inoltre una riduzione del rischio di mortalità per tumore del polmone.

Donne

Le donne residenti nelle immediate vicinanze dagli impianti (0-2 Km) presentano una mortalità generale per cause naturali che non si discosta da quella della popolazione di riferimento (residenti nella fascia 5-7 Km). In questo gruppo di popolazione si osserva, tuttavia, un eccesso di mortalità per tumore della laringe (HR=11.16, eccesso basato su 3 casi), per tumore della mammella (HR=1.14) e per malattie ischemiche del cuore (HR=1.60). L'analisi del trend per distanza non evidenzia variazioni statisticamente significative, ad eccezione di un eccesso di rischio (+56%, 6 casi osservati) della mortalità per tumore della laringe.

Analisi della mortalità: confronto interno per livelli di esposizione a H_2S

La tabella 4 mostra l'associazione tra mortalità e livelli di esposizione a H_2S, separatamente per gli uomini (a) e per le donne (b). Sono riportati sia i risultati ottenuti considerando la concentrazione come variabile categorica (livelli di concentrazione superiori al 90° percentile della distribuzione vs livelli inferiori al 50° percentile) sia l'aumento di rischio di mortalità per un aumento lineare pari a 0.043 $\mu g/m^3$ di H_2S (differenza tra il 95° e il 5° percentile).

Uomini

Gli uomini esposti a più elevate concentrazioni di H_2S non mostrano differenze particolari di mortalità rispetto ai residenti in aree caratterizzate da una concentrazione inferiore al 50° percentile della distribuzione di H_2S. Tale risultato è confermato anche dall'analisi che considera la concentrazione di H_2S come variabile continua.

Donne

Come per gli uomini, non si osservano particolari differenze nella mortalità tra le donne più esposte e quelle meno esposte, ad eccezione di un aumento del rischio della mortalità per tumore della laringe, basato su un numero esigui di casi (tre). L'analisi che considera la concentrazione di H_2S come variabile continua evidenzia un aumento della frequenza di casi di mortalità per tumore della laringe e della vescica all'aumentare della esposizione.

Analisi della mortalità: confronto interno per livelli di esposizione a SO_X

La tabella 5 mostra l'associazione tra la mortalità della coorte e l'esposizione alla raffineria considerando i livelli di concentrazione di SO_X, separatamente per gli uomini (a) e per le donne (b). Sono riportati sia i risultati ottenuti considerando la concentrazione come variabile categorica (livelli di concentrazione superiori al 90° percentile della distribuzione vs livelli inferiori al 50° percentile) sia l'aumento di rischio di mortalità per un aumento lineare pari a 2.88 $\mu g/m^3$ di SO_X (differenza tra il 95° e il 5° percentile).

Uomini

Gli uomini esposti ad alte concentrazioni di SO_X non mostrano particolari differenze di mortalità rispetto ai residenti in aree caratterizzate da una concentrazione di SO_X

inferiore al 50° percentile della distribuzione. Risultato confermato anche dall'analisi che considera la concentrazione di SO_X come variabile continua.

Donne

Le residenti esposte ad alte concentrazioni di SO_X mostrano un quadro della mortalità generale che non si discosta da quella che si osserva tra le residenti in aree caratterizzate da una concentrazione di SO_X inferiore al 50° percentile della distribuzione. L'unica eccezione è data da un eccesso di mortalità per tumore della laringe; tale eccesso, tuttavia, è basato su solo tre casi. Si osserva inoltre un eccesso di mortalità per tumore del pancreas; tale eccesso tuttavia non raggiunge la significatività statistica (HR=1.97, IC95%=0.95-4.09). Per questi tumori gli eccessi vengono confermati, raggiungendo la significatività statistica, nell'analisi che considera la concentrazione di SO_X come variabile continua.

Analisi della mortalità: confronto interno per livelli di esposizione a PM_{10}

La tabella 6 mostra l'associazione tra la mortalità della coorte e l'esposizione all'inceneritore per rifiuti speciali considerando i livelli di concentrazione di PM_{10}, separatamente per gli uomini (a) e per le donne (b). Sono riportati sia i risultati ottenuti considerando la concentrazione come variabile categorica (livelli di concentrazione superiori al 90° percentile della distribuzione vs livelli inferiori al 50° percentile) sia l'aumento di rischio di mortalità per un aumento lineare pari a 0.027 ng/m^3 di PM_{10} (differenza tra il 95° e il 5° percentile).

Uomini

Gli uomini esposti ad alte concentrazioni di PM_{10} mostrano un eccesso di mortalità per cause naturali (+19%), rispetto al riferimento. L'analisi del rischio di mortalità causa-specifico evidenzia un eccesso per malattie dell'apparato respiratorio (+82%). L'analisi volta a valutare l'aumento del rischio di mortalità all'aumento lineare di concentrazione di PM_{10}, conferma l'eccesso per cause naturali, evidenziando inoltre un'associazione statisticamente significativa con il tumore del pancreas.

Donne

Le residenti esposte a più elevate concentrazioni di PM_{10} mostrano un quadro della mortalità generale che non si discosta da quella che si osserva tra le residenti in aree caratterizzate da una concentrazione di PM_{10} inferiore al 50° percentile della

distribuzione. L'analisi che considera la concentrazione di PM_{10} come variabile continua evidenzia un aumento di rischio della mortalità per tumore del pancreas (+47%) e della laringe (+92%) all'aumentare della esposizione.

Analisi delle persone ricoverate: confronto interno per distanza

La tabella 7 mostra i risultati dell'analisi in cui è considerata come esposizione la distanza dalle fonti. La tabella riporta, separatamente per gli uomini (a) e per le donne (b), i risultati ottenuti considerando la distanza come variabile categorica (0-1, 1-2, 0-2 vs 5-7 Km) ovvero come variabile continua, il numero di ricoveri osservati (per ogni persona si analizza il primo ricovero del periodo per ciascuna delle patologie in studio), gli Hazard Ratio (HR) e i rispettivi intervalli di confidenza (IC95%) al variare della distanza dall'area in studio.

Uomini

A parità di età, livello di istruzione, tipo di occupazione, condizione socio-economica e livelli di inquinamento del luogo di residenza (ottenuti considerando i livelli di NO_2 da traffico stradale), gli uomini residenti entro 1 Km dagli impianti mostrano un rischio di ospedalizzazione per cause naturali in eccesso dell'8% rispetto a quello dei residenti nell'area 5-7 Km, ma tale eccesso è al limite della significatività statistica. Si segnala un eccesso di ricoveri per patologie cerebrovascolari (+32%, al limite della significatività statistica) e, al contrario, un numero di persone ospedalizzate per tutti i tumori, in particolare per tumore del polmone, inferiore al riferimento. L'analisi del trend per distanza evidenzia che avvicinandosi agli impianti vi è un moderato aumento del rischio di ospedalizzazione generale (+2%), in particolare per patologie a carico dell'apparato cardiovascolare e dell'apparato urinario; si osserva anche un aumento delle persone ospedalizzate per patologie della tiroide all'avvicinarsi agli impianti.

Donne

Il gruppo delle donne residenti nelle vicinanze dagli impianti (0-2 Km) presenta una frequenza di persone ospedalizzate maggiore del 9% rispetto a quella che si osserva nella popolazione di riferimento (residenti nella fascia 5-7 Km). Eccessi di persone ospedalizzate si osservano anche per tumore della laringe, malattie del sistema circolatorio e di quello digerente. L'analisi del trend lineare evidenzia un modesto aumento del rischio di ricovero (+1%) all'avvicinarsi agli impianti, dovuto

principalmente a malattie del sistema circolatorio e digerente. All'avvicinarsi agli impianti si osserva un aumento statisticamente significativo delle persone ricoverate per tumore della laringe.

Analisi delle persone ricoverate: confronto interno per livelli di esposizione a H_2S

La tabella 8 riporta i risultati, separatamente per gli uomini (a) e per le donne (b), dell'analisi dei ricoveri per concentrazione di H_2S.

Uomini

I residenti esposti a più elevate concentrazioni di H_2S mostrano un quadro di ospedalizzazione generale e causa specifica che non si discosta da quella che si osserva tra i residenti in aree caratterizzate da una concentrazione di H_2S inferiore al 50° percentile della distribuzione ad eccezione di un difetto nelle ospedalizzazioni per tumori del tessuto linfatico ed ematopoietico. L'analisi del trend lineare per esposizione a H_2S non mostra particolari associazioni tra l'esposizione in studio e il ricorso ai ricoveri ospedalieri.

Donne

Le donne residenti esposte ad alte concentrazioni di H_2S mostrano un quadro di ospedalizzazione che non si discosta da quella che si osserva tra quelle residenti in aree caratterizzate da una concentrazione di H_2S inferiore al 50° percentile della distribuzione.

I risultati dell'analisi che valuta l'aumento di rischio di ospedalizzazione all'aumentare dell' H_2S mostrano un eccesso di ricoveri per tumore della laringe (HR=1.36, IC95%=1.08-1.72) e un eccesso di ricoveri per malattie del sistema circolatorio (HR=1.04, IC95%=1.00-1.09), in particolare per malattie cardiache.

Analisi delle persone ricoverate: confronto interno per livelli di esposizione a SO_X

La tabella 9 riporta i risultati, separatamente per gli uomini (a) e per le donne (b), dell'analisi dei ricoveri per concentrazione di SO_X.

Uomini

I residenti esposti a più alte concentrazioni di SO_X mostrano un quadro di ospedalizzazione generale e causa specifica che non si discosta da quella che si osserva tra i residenti in aree caratterizzate da una concentrazione di SO_X inferiore al

50° percentile della distribuzione. L'analisi del trend lineare per esposizione a H_2S evidenzia tuttavia un eccesso di ricoveri per malattie dell'apparato respiratorio.

Donne

Le residenti esposte ad alte concentrazioni di SO_X mostrano un quadro di ospedalizzazione che non si discosta da quella che si osserva tra le residenti in aree caratterizzate da una concentrazione di SO_X inferiore al 50° percentile della distribuzione. Si osserva tuttavia un aumento di persone ospedalizzate per malattie dell'apparato digerente e una diminuzione del rischio per broncopneumopatie cronico ostruttive.

I risultati dell'analisi che valuta l'aumento del rischio di ospedalizzazione all'aumentare lineare dell'SO_X mostrano un eccesso di ricoveri per tumore della laringe (HR=4.19, IC95%=1.36-12.94) e una diminuzione per tumori del tessuto linfatico ed ematopoietico (HR=0.51, IC95%=0.28-0.92) e per malattie della tiroide (HR=0.79, IC95%=0.64-0.97).

Analisi delle persone ricoverate: confronto interno per livelli di esposizione a PM_{10}

La tabella 10 riporta i risultati, separatamente per gli uomini (a) e per le donne (b), dell'analisi dei ricoveri per concentrazione di PM_{10}.

Uomini

I residenti esposti ad alte concentrazioni di PM_{10} mostrano un quadro di ospedalizzazione generale e per cause tumorali che non si discosta da quello che si osserva tra i residenti in aree caratterizzate da una concentrazione di PM_{10} inferiore al 50° percentile della distribuzione. Per quanto riguarda l'ospedalizzazione causa-specifica si segnalano eccessi di ospedalizzazione per malattie dell'apparato respiratorio (HR=1.33), soprattutto per broncopneumopatie cronico ostruttive (HR=1.41) e una diminuzione del numero di persone ricoverate per tumori maligni (HR=0.85).

L'analisi del trend lineare per esposizione a PM_{10} evidenzia inoltre un eccesso di ricoveri per tumore del pancreas (HR=1.35) e una diminuzione di quelli per malattie ischemiche del cuore (HR=0.89).

Donne

Le residenti esposte ad alte concentrazioni di PM_{10} mostrano un quadro di ospedalizzazione per cause naturali leggermente inferiore a quello che si osserva tra le residenti in aree caratterizzate da una concentrazione di PM_{10} inferiore al 50° percentile della distribuzione. I risultati dell'analisi che valuta l'aumento di rischio di ospedalizzazione all'aumentare lineare di PM_{10} mostrano un eccesso di ricoveri per tumore del fegato (HR=1.55), della laringe (HR=1.83) e della mammella (HR=1.13) e una diminuzione per tessuto linfatico e ematopoietico (HR=0.66), delle malattie della tiroide (HR=0.86) e delle malattie dell'apparato urinario (HR=0.85).

La sintesi dei risultati dello studio è descritta nella tabella 11 insieme alla stima del *p-value* e del *q-value* delle associazioni.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Lo studio ha valutato il rischio di mortalità e di ospedalizzazione della coorte dei residenti nell'area di Malagrotta a Roma. La valutazione dell'esposizione è stata effettuata sia usando un semplice criterio di distanza (in Km) - nell'ipotesi che il rischio per gli esiti in studio aumenti al diminuire di questa distanza - sia usando tecniche più sofisticate basate sui modelli di dispersione degli inquinanti - nell'ipotesi che il rischio sia maggiore dove le concentrazioni stimate alla residenza sono più elevate. L'ipotesi che si voleva verificare era che vivere in prossimità degli impianti, o risiedere in aree caratterizzate da alte concentrazioni degli inquinanti scelti come traccianti, costituisse un fattore di rischio per la salute.

Considerando i molteplici confronti effettuati, nella interpretazione dei risultati abbiamo volutamente dato più peso a quelle variazioni nella mortalità e nei ricoveri che si verificano in maniera coerente tra uomini e donne, tra mortalità e ricoveri stessi, e, per quanto riguarda l'esposizione, per distanza e concentrazione degli inquinanti.

Per la distanza, i risultati dello studio evidenziano (sia tra gli uomini che tra le donne) un quadro di mortalità di coloro che vivono in prossimità degli impianti abbastanza simile a quello della popolazione di riferimento. Fanno tuttavia eccezione le patologie

dell'apparato cardiovascolare (donne) e respiratorio (uomini), che sono aumentate tra i residenti nell'area più prossima agli impianti. Per le patologie tumorali, si osserva tra le donne un eccesso di tumore della laringe e della mammella mentre gli uomini non hanno particolari variazioni rispetto al riferimento. I residenti (uomini e donne) più prossimi agli impianti ricorrono più frequentemente alle cure ospedaliere (+8%), in particolare per malattie circolatorie, urinarie e dell'apparato digerente. Solo tra gli uomini si è osservato un aumento dei ricoveri per patologie della tiroide.

Per quanto riguarda i risultati relativi alle concentrazioni dei singoli inquinanti, si è riscontrata nei gruppi più esposti un'associazione tra H_2S (discarica) e SO_X (raffineria) e tumori della laringe e della vescica (mortalità e ricoveri) solo nelle donne residenti. Limitatamente ai ricoveri, si è osservata un'associazione tra H_2S e malattie dell'apparato circolatorio (donne), SO_X e malattie dell'apparato respiratorio (uomini) e tumore della laringe tra le donne. L'esposizione a PM_{10} (inceneritore) è risultata associata a patologie dell'apparato respiratorio e a tumore del pancreas (uomini) e a tumore della laringe, del fegato e della mammella (donne).

Molti dei risultati ottenuti sono confermati dall'analisi del *q-value* che tiene conto della molteplicità dei confronti effettuati. Per alcune forme tumorali, tuttavia, questo non accade e quanto riscontrato potrebbe deporre per un'associazione spuria, attribuibile al caso. Deve essere comunque considerato che nel caso dei tumori lo studio si proponeva di verificare alcune ipotesi di associazione stabilite a priori, al riparo dunque dal possibile effetto derivante dal *multiple testing*.

La coorte in studio è una popolazione chiusa, composta di tutte le persone residenti nell'area ad ottobre 2001, residenti allo stesso indirizzo nei precedenti cinque anni. In questa analisi non sono dunque inclusi gli immigrati nell'area e tutti i bambini nati successivamente all'ottobre 2001. Per questo motivo, non è stato possibile valutare la salute dei bambini residenti. Tuttavia, le analisi effettuate sui 2,815 bambini presenti all'ottobre 2001 non hanno evidenziato particolari aumenti del rischio di mortalità o di ricorso alle cure ospedaliere in relazione alla distanza dagli impianti o alla concentrazione stimata degli inquinanti.

Alcuni degli aumenti di patologia riscontrati possono essere attribuibili a fattori ambientali presenti nell'area. L'aumento di rischio per le malattie dell'apparato

cardiovascolare e dell'apparato respiratorio, osservate in particolare tra residenti che ricadono nell' "impronta" dell'inceneritore di rifiuti speciali, possono essere considerati un effetto plausibile dell'inquinamento atmosferico tipico delle aree industriali. Esiste un corpo di evidenze scientifiche in grado di suffragare i risultati per quanto riguarda gli effetti cardiovascolari e respiratori derivanti anche da recenti studi che hanno valutato gli effetti dell'inquinamento atmosferico ed in maniera integrata l'impatto su ambiente e salute del ciclo dei rifiuti.[43-46]

Più complessa è la discussione dei risultati per il tumore del pancreas e per quello della laringe. Il tumore del pancreas, è una forma di cancro rapidamente letale che riconosce pochi fattori di rischio, tra cui il fumo di sigarette e alcune esposizioni occupazionali. In generale, questa forma tumorale sembra essere favorita dalla esposizione a prodotti della combustione.[47] In analogia con questo studio, due indagini condotte in Canada tra le persone residenti vicino alla discarica di Miron Quarry (la terza discarica per grandezza del Nord America) hanno trovato una associazione tra la residenza e alcuni tumori tra cui quello del fegato, dei reni, del pancreas e il linfoma non-Hodgkin.[48-49] Il possibile ruolo delle esposizioni ambientali nell'area di Malagrotta è suffragato dalla coerenza dei risultati nei due sessi.

Anche il tumore della laringe ha come fattori di rischio il fumo di sigaretta, le esposizioni occupazionali ad alcune sostanze (es. asbesto, acidi forti), e l'uso eccessivo di alcol. Un'associazione con il tumore della laringe era già stato osservato negli studi condotti negli anni '90 da Elliot[27] e da Michelozzi[23], quest'ultimo condotto proprio nell'area di Malagrotta. E' doveroso sottolineare che in questo studio, l'eccesso di tumori della laringe tra le donne è basato su pochi casi (tre decessi, sei persone ricoverate), ma è coerente per le diverse analisi effettuate (mortalità e ricoveri).

Tra le donne residenti nell'area è stato anche osservato un aumento del rischio di tumore della mammella, in particolare per quelle esposte ad alte concentrazioni di PM_{10} (inceneritore). Questi risultati confermano quelli recentemente trovati da Ranzi et al[18] tra le donne residenti nei pressi dell'inceneritore di Coriano e sono in linea con altri risultati precedentemente osservati.[3-4] Oltre a fattori quali l'età, la storia familiare, età al menarca e alla menopausa, densità del seno e salute riproduttiva, il cancro della mammella è associato anche ad esposizioni di tipo industriale[50], in particolare ad esposizioni a diossine sia per motivi occupazionali[51-53] che residenziali,

come fu documentato a Seveso.[54] Il caso controllo condotto in Francia da Viel et al.[55] tra le donne residenti intorno ad un inceneritore per RU, non ha mostrato un aumento del rischio tra le giovani donne esposte a più elevate concentrazioni di diossina.

In questo studio è stata valutata la salute di coloro che risiedono nelle vicinanze di un sito industriale molto complesso. Diversi fattori rendono particolarmente complicate questo tipo di indagini: la natura molto eterogenea delle esposizioni - aria, suolo, acqua - e la loro valutazione spesso imprecisa; le evidenze disponibili che derivano da studi condotti a livello ecologico su campioni di dimensione limitate; la mancanza di informazioni sui potenziali fattori di confondimento individuale; la complessità sociale, economica e occupazionale delle aree periferiche vicine a grandi aree urbane; le condizioni cliniche scelte come esiti spesso a eziologia multifattoriale.

Nella situazione complessa dell'area di Malagrotta (più fonti, a breve distanza tra loro, le cui "impronte" ambientali si sovrappongono) è difficile dunque determinare quali inquinanti e quale impianto/i siano causalmente responsabili degli eccessi di rischio evidenziati. In questo contesto anche la scelta del tracciante deve essere giustificata. PM_{10} e SO_X, scelti in questo studio come traccianti dell'inceneritore e della raffineria, sono stati già utilizzati come marcatori surrogati di esposizione a miscele complesse di sostanze inquinanti prodotte dai processi di combustione: particelle (PM_{10} ma anche frazioni di particolato più piccole), gas, metalli e composti organici.[18,56] Più complessa è stata invece la scelta del tracciante da selezionare per la discarica per RU. I biogas emessi dalle discariche sono costituiti principalmente da metano e anidride carbonica, da una miscela di composti organici volatili (VOC) e da altri gas, quali idrogeno solforato e i mercaptani. In questo studio, l'H_2S è stato scelto come tracciante della discarica perché le discariche per RU sono fonte di cattivi odori che creano fastidio (*annoyance*) alle persone esposte e perché l'idrogeno solforato può avere di per sé effetti tossici.[57-58]

Punti di forza di questo lavoro sono il disegno di studio longitudinale, la numerosità della coorte (85,559 persone), la durata del *follow-up* (dieci anni), l'esposizione valutata con tecniche modellistiche avanzate, la disponibilità di indicatori individuali di stato socio-economico (istruzione, occupazione), la disponibilità di indicatori di altre esposizioni ambientali concomitanti (inquinamento da traffico urbano e dal traffico

generato dai camion che conferiscono i rifiuti in discarica, specifico di questa zona di Roma). Ciononostante, proprio la valutazione dell'esposizione rappresenta una criticità. Sulla base di precedenti esperienze[27], partendo dalle informazioni derivanti dal profilo della distribuzione degli inquinanti scelti come traccianti, lo studio è stato circoscritto ai residenti in un cerchio di raggio 7 Km dagli impianti. Nonostante i miglioramenti apportati alla metodologia di individuazione dei livelli di esposizione, occorrono ancora ulteriori sviluppi per fornire una misura dell'impatto delle discariche sull'ambiente. Lo studio ha 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. Le concentrazioni di inquinanti stimati presso la residenza delle persone non rappresentano adeguatamente la reale esposizione, perché le persone non sono sempre a casa, e questo studio non include tutte le informazioni riguardanti le attività quotidiane e il lavoro degli individui della coorte. Tuttavia, gli eccessi rilevati nelle aree con livelli di esposizione più elevati sono stati osservati soprattutto fra le donne, una popolazione più stabile di quella maschile, in cui il rischio di aver misclassificato l'esposizione è più basso. Infine, in questo studio per simulare la dispersione di ciascun inquinante sono stati utilizzati i valori di emissione autorizzati, questo potrebbe aver sovrastimato i valori delle concentrazioni reali, ma l'impronta della ricaduta e il gradiente di esposizione non sono stati modificati a causa di questa scelta.

Non abbiamo avuto la possibilità di controllare i fattori di rischio individuali: il fumo di sigarette, l'alcol, l'attività fisica e l'obesità. Reperire queste informazioni è stato impossibile. E' da osservare però che molte delle abitudini personali elencate sono associate allo stato sociale. E' ragionevole dunque ritenere che l'aggiustamento effettuato nella analisi statistica per gli indicatori di istruzione e di stato socio-economico abbia anche aggiustato per le variabili individuali non misurate.

E' da rilevare, infine, che la latenza tra inizio della esposizione ed esiti di malattia varia a seconda del processo patologico. E' chiaro che, per quanto riguarda i tumori tra gli adulti (specie i tumori solidi), l'esposizione eziologicamente rilevante è quella avvenuta 15-30 anni prima della comparsa della malattia. Il ragionamento è diverso per le malattie cardiovascolari e per quelle respiratorie, in quanto la latenza tra esposizione ed effetto sanitario è più contenuta poiché diversi i meccanismi fisiopatologici che sottendono il danno biologico.

Lo studio della coorte dei residenti nell'area di Malagrotta ha evidenziato un quadro di mortalità tra le persone più esposte in gran parte sovrapponibile con quello di riferimento. Tuttavia, sono stati riscontrati, sia per la mortalità e soprattutto per le ospedalizzazioni, eccessi di rischio per malattie respiratorie, cardiovascolari e per alcune forme tumorali. Alcune delle associazioni emerse, considerando la distanza dagli impianti o la concentrazione stimata degli inquinanti scelti come traccianti (H_2S, SO_X e PM_{10}), sono potenzialmente attribuibili all'inquinamento prodotto nei passati decenni dagli impianti industriali presenti nell'area, ma è molto difficile determinare quali sono le emissioni (e di conseguenza gli impianti) che ne sono maggiormente responsabili.

BIBLIOGRAFIA

1. Forastiere F, Badaloni C, de Hoogh K et al: Health impact assessment of waste management facilities in three European countries. *Environ Health* 2011 Jun 2; 10:53.
2. Porta D, Milani S, Lazzarino AI, Perucci CA, Forastiere F: Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. *Environ Health* 2009 Dec 23; 8:60.
3. WHO. Population health and waste management: scientific data and policy options. Report of a WHO workshop, Rome, Italy; 2007. http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0012/91101/E91021.pdf .
4. Franchini M, Rial M, Buiatti E, Bianchi F: Health effects of exposure to waste incinerator emissions: a review of epidemiological studies. *Ann Ist Super Sanita* 2004; 40:101–15.
5. 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.
6. Jarup L, Briggs D, de Hoogh C et al: Cancer risks in populations living near landfill sites in Great Britain. *Br J Cancer* 2002; 86:1732-1736.
7. Pukkala E, Pönkä A: Increased incidence of cancer and asthma in houses buuilt on a former dump area. *Environ Health Perspect* 2001; 109:1121-1125.
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. Simonsen N, Scribner R, Su LJ et al: Environmental exposure to emissions from petrochemical sites and lung cancer: the lower Mississippi interagency cancer study. *Environ Public Health* 2010; 2010:759645.
10. Fustinoni S, Campo L, Satta G et al: Environmental and lifestyle factors affect benzene uptake biomonitoring of residents near a petrochemical planT. *Environ Int* 2012 Feb; 39(1):2-7. t.
11. Simonsen N, Scribner R, Su LJ et al: Environmental exposure to emissions from petrochemical sites and lung cancer: the lower Mississippi interagency cancer study. *Environ Public Health* 2010; 2010:759645.
12. Barregard L, Holmberg E, Sallsten G: Leukaemia incidence in people living close to an oil refinery. *Environ Res* 2009 Nov; 109(8):985-90.

13. Hearey CD, Ury H, Siegelaub A, Ho MK, Salomon H, Cella RL: Lack of association between cancer incidence and residence near petrochemical industry in the San Francisco Bay area. *Natl Cancer Inst* 1980 Jun; 64(6):1295-9.
14. Sans S, Elliott P, Kleinschmidt I et al: Cancer incidence and mortality near the Baglan Bay petrochemical works, South Wales. *Occup Environ Med* 1995 Apr; 52(4):217-24.
15. Bhopal RS, Moffatt S, Pless-Mulloli T et al: Does living near a constellation of petrochemical, steel, and other industries impair health? *Occup Environ Med* 1998 Dec; 55(12):812-22.
16. Hodgson S, Nieuwenhuijsen MJ, Hansell A et al: Excess risk of kidney disease in a population living near industrial plants. *Occup Environ Med* 2004 Aug; 61(8):717-9.
17. Elliott P, Briggs D, Morris S et al: Risk of adverse birth outcomes in populations living near landfill sites. *BMJ* 2001 Nov 17; 323(7322):1182.
18. Ranzi A, Fano V, Erspamer L, Lauriola P, Perucci CA, Forastiere F: Mortality and morbidity among people living close to incinerators: a cohort study based on dispersion modeling for exposure assessment. *Environ Health* 2011 Mar 24; 10:22.
19. Kim YM, Kim JW, Lee HJ: Burden of disease attributable to air pollutants from municipal solid waste incinerators in Seoul, Korea: a source-specific approach for environmental burden of disease. *Sci Total Environ* 2011 May 1; 409(11):2019-28.
20. The application of models under the European Union's Air Quality Directive: A technical reference guide Technical report No 10/2011 http://www.eea.europa.eu/publications/fairmode .
21. Floret N, Mauny F, Challier B, Arveux P, Cahn JY, JF Viel: Dioxin emissions from a solid waste incinerator and risk of non-Hodgkin lymphoma. *Epidemiology* 2003; 14:392–8.
22. Viel JF, Daniau C, Goria S et al: Risk for non Hodgkin's lymphoma in the vicinity of French municipal solid waste incinerators. *Environ Health* 2008; 7:51. doi: 10.1186/1476-069X-7-51.
23. 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 Sep; 55(9):611-5.

24. Lo Presti E, Sperati A, Rapiti E, Di Domenicantonio R, Forastiere F, Perucci CA: Cause of death among workers of a refinery in Rome. *Med Lav* 2001 Sep-Oct; 92(5):327-37.
25. Rapiti E, Sperati A, Fano V, Dell'Orco V, Forastiere F: Mortality among workers at municipal waste incinerators in Rome: a retrospective cohort study. *Am J Ind Med* 1997 May; 31(5):659-61.
26. Cesaroni G, Badaloni C, Romano V, Donato E, Perucci CA, Forastiere F: Socioeconomic position and health status of people who live near busy roads: the Rome Longitudinal Study (RoLS). *Environ Health* 2010 Jul 21; 9:41.
27. Elliott P, Hills M, Beresford J et al: Incidence of cancers of the larynx and lung near incinerators of waste solvents and oils in Great Britain. *Lancet* 1992; 339:854–8.
28. Tinarelli G, Piersanti A, Radice P, Clemente M, De Maria R: Microscale Modelling Simulations for the site characterization of air quality stations in an urban environment. Radiation Protection Dosimetry 2009; doi: 10.1093/rpd/ncp225.
29. http://pandora.meng.auth.gr/mds/showlong.php?id=87&MTG_Session=076efef02fb1e80788b9630d7fadb813 .
30. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale http://www.isprambiente.gov.it .
31. EPA http://www.epa.gov/ttncatc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf .
32. Rushton L: Health hazards and waste management. Br Med Bull. 2003;68:183-97.
33. Martuzzi M, Mitis F, Bianchi F, Minichilli F, Comba P, Fazzo L: Cancer mortality and congenital anomalies in a region of Italy with intense environmental pressure due to waste. *Occup Environ Med* 2009 Nov; 66(11):725-32,
34. Altavista P, Belli S, Bianchi F et al: Cause-specific mortality in an area of Campania with numerous waste disposal sites. *Epidemiol & Prev* 2004 Nov-Dec; 28(6):311-21.
35. Elliott P, Shaddick G, Kleinschmidt I et al: Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain. *Br J Cancer* 1996 Mar; 73(5):702-10.
36. Yang CY, Cheng MF, Chiu JF, Tsai SS: Female lung cancer and petrochemical air pollution in Taiwan. *Arch Environ Health* 1999 May-Jun; 54(3):180-5.
37. Tsai SS, Tiao MM, Kuo HW, Wu TN, Yang CY: Association of bladder cancer with residential exposure to petrochemical air pollutant emissions in Taiwan. J Toxicol *Environ Health A* 2009; 72(2):53-9.

38. Minichilli F, Bartolacci S, Buiatti E, Pallante V, Scala D, Bianchi F: A study on mortality around six municipal solid waste landfills in Tuscany Region. *Epidemiol & Prev* 2005 Sep-Dec; 29(5-6 Suppl):53-6.
39. Wilkinson P, Thakrar B, Walls P et al: Lymphohaematopoietic malignancy around all industrial complexes that include major oil refineries in Great Britain. *Occup Environ Med* 1999 Sep; 56(9):577-80.
40. Johnson KC, Pan S, Fry R, Mao Y: Canadian Cancer Registries Epidemiology Research Group.Residential proximity to industrial plants and non-Hodgkin lymphoma. *Epidemiology* 2003 Nov; 14(6):687-93.
41. 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
42. Cesaroni G, Porta D, Badaloni C et al: Nitrogen dioxide levels estimated from land use regression models several years apart and association with mortality in a large cohort study (2012 submitted to ehjournal).
43. Benjamini Y, Yekutieli D: The control of the false discovery rate in multiple testing under dependency. *Annals of Statistics* 2001; 29 (4): 1165–1188.
44. ATS 1996. Health effects of outdoor air pollution. Committee of the environmental and occupational health assembly of the American Thoracic Society. *Am J Respir Crit Care Med* 153:3–50.
45. WHO 2005. Air quality guidelines : global update 2005 : particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide.
46. Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA 3rd et al: American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention, Council on the Kidney in Cardiovascular Disease, and Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010 Jun 1;121(21):2331-78.
47. Forastiere Intarese, Kim YM, Kim JW, Lee HJ: Burden of disease attributable to air pollutants from municipal solid waste incinerators in Seoul, Korea: a source-specific approach for environmental burden of disease. *Sci Total Environ* 2011 May 1;409(11):2019-28.
48. Schottenfeld D, Fraumeni JF: Cancer Epidemiology and Prevention 1996.

49. Goldberg MS, Al-Homsi N, Goulet L, Riberdy H: Incidence of cancer among persons living near a municipal solid waste landfill site in Montreal, Quebec. *Arch Environ Health 1995*; 50: 416–24.
50. Goldberg MS, DeWar R, Desy 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: 291–6.
51. Pan SY, Morrison H, Gibbons L et al: Breast cancer risk associated with residential proximity to industrial plants in Canada. *J Occup Environ Med* 2011 May; 53(5):522-9
52. Flesch-Janys D, Becher H, Manz A, Morgenstern I, Nagel S, Steindorf K: Epidemiologic investigation of breast cancer incidence in a cohort of female workers with high exposure to PCDD/F and HCH. *Organohalogen Compounds* 1999; 44:379–382.
53. Manz A, Berger J, Dwyer J, Flesch-Janys D, Nagel S, Waltsgott H: Cancer mortality among workers in chemical plant contaminated with dioxin. *Lancet* 1991; 338:959–964.
54. Kogevinas M, Becher H, Benn T et al: Cancer mortality in workers exposed to phenoxy herbicides, chlorophenols, and dioxins: An expanded and updated international cohort study. *Am J Epidemiol* 1997; 145:1061–1075.
55. Steenland K, Bertazzi P, Baccarelli A, Kogevinas M: Dioxin revisited: developments since the 1997 IARC classification of dioxin as a human carcinogen. *Environ Health Perspect* 2004; 112:1265-8.
56. Viel JF, Clément MC, Hägi M, Grandjean S, Challier B, Danzon A. Dioxin emissions from a municipal solid waste incinerator and risk of invasive breast cancer: a population-based case-control study with GIS-derived exposure. *International Journal of Health Geographics* 2008; 7:4.
57. Smargiassi A, Kosatsky T, Hicks J et al: Risk of asthmatic episodes in children exposed to sulfur dioxide stack emissions from a refinery point source in Montreal, Canada. *Environ Health Perspect* 2009 Apr; 117(4):653-9.
58. Sarkar U, Hobbs SE, Longhurst PJ: Dispersion of odour: a case study with a municipal solid waste landfill site in North London, United Kingdom. *Environ Manage* 2003 Jun; 68(2):153-60.
59. Paraskaki I, Lazaridis M: Quantification of landfill emissions to air: a case study of the Ano Liosia landfill site in the greater Athens area. *Waste Manag Res* 2005 Jun; 23(3):199-208.

Figura 1 (a). Area di Malagrotta, impianti industriali e coorte dei residenti

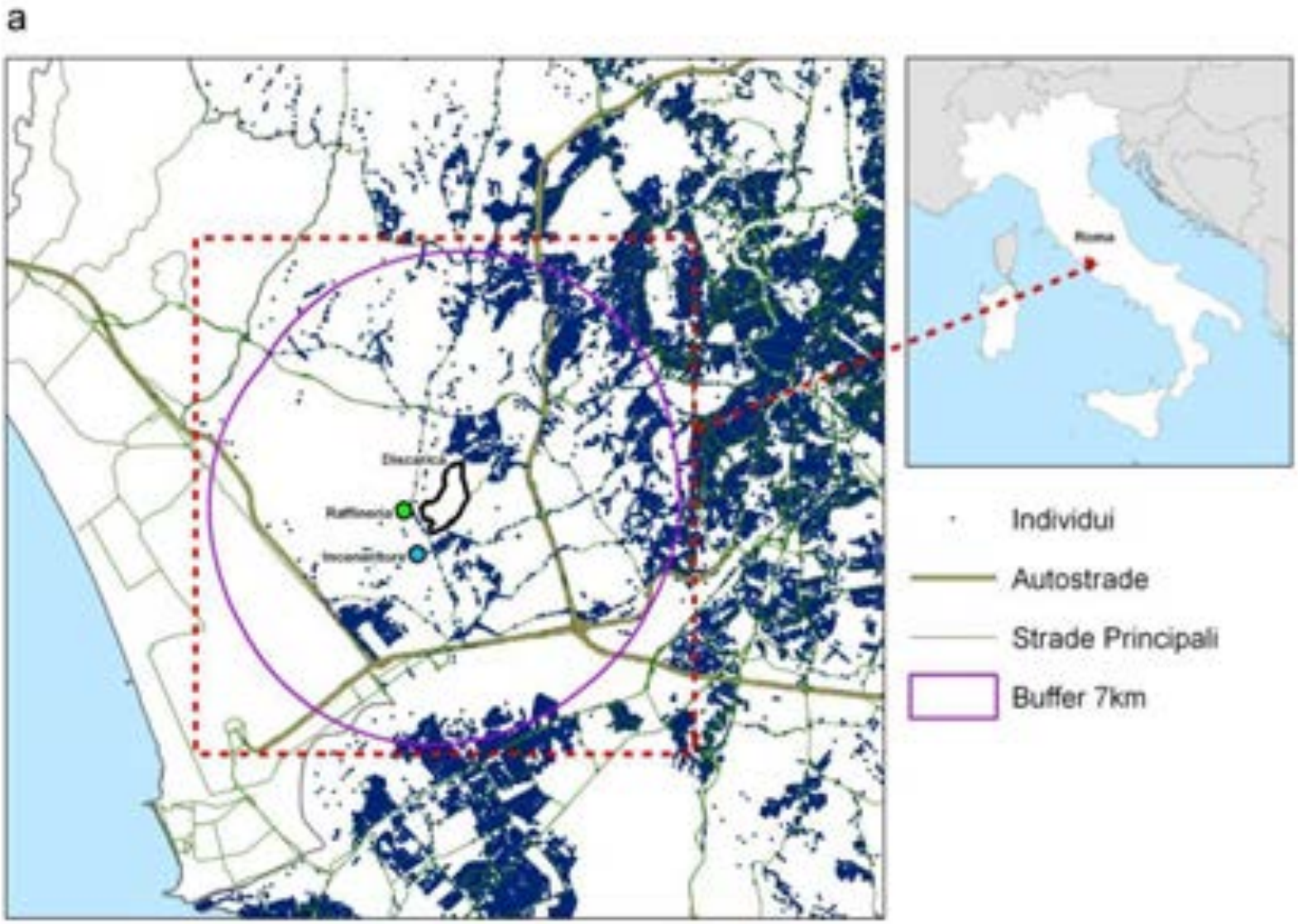


Figura 1 (b). Concentrazioni di idrogeno solforato (H_2S) dalla discarica per Rifiuti Urbani

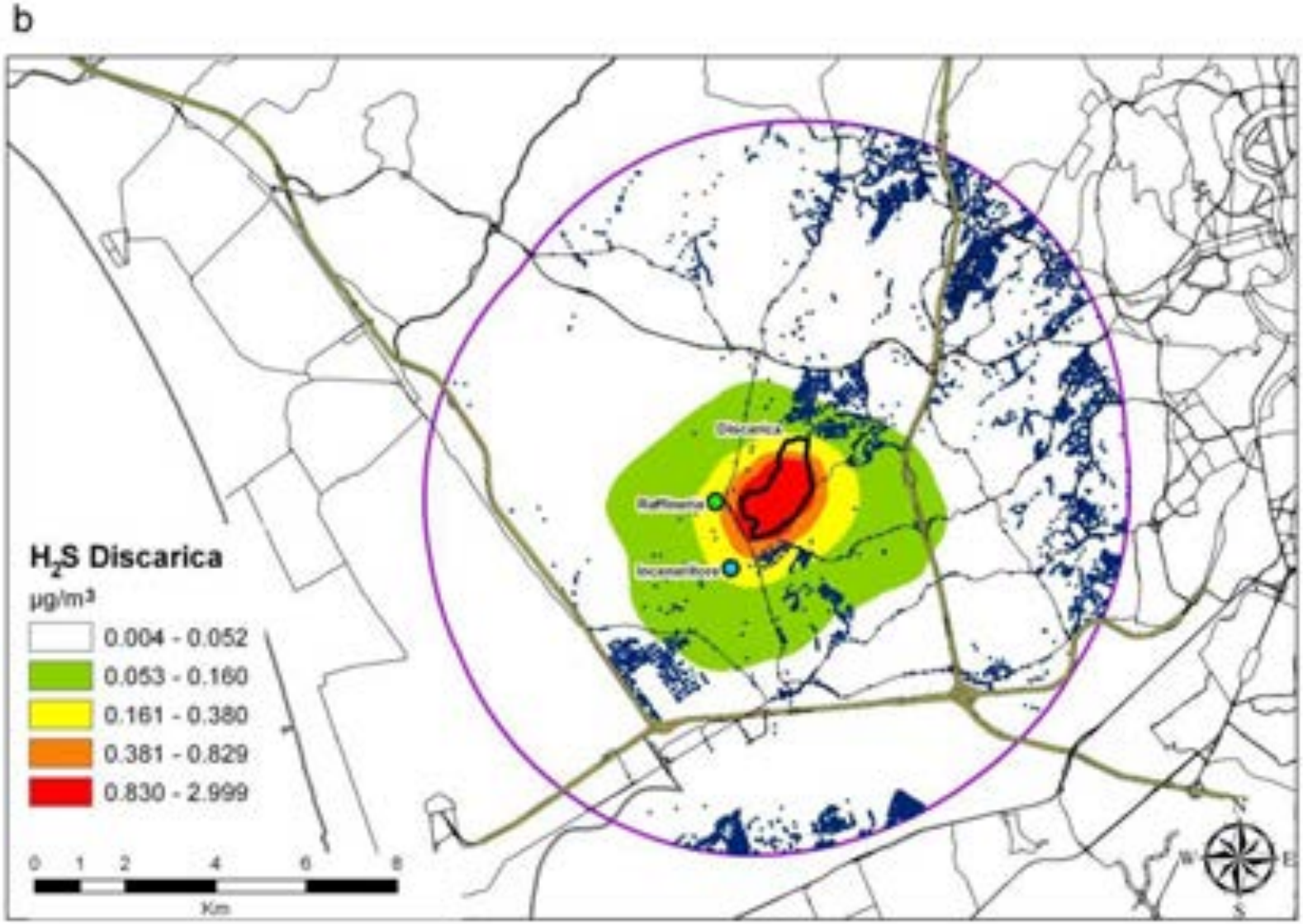


Figura 1 (c). Concentrazioni di ossidi di zolfo (SO_X) dalla raffineria

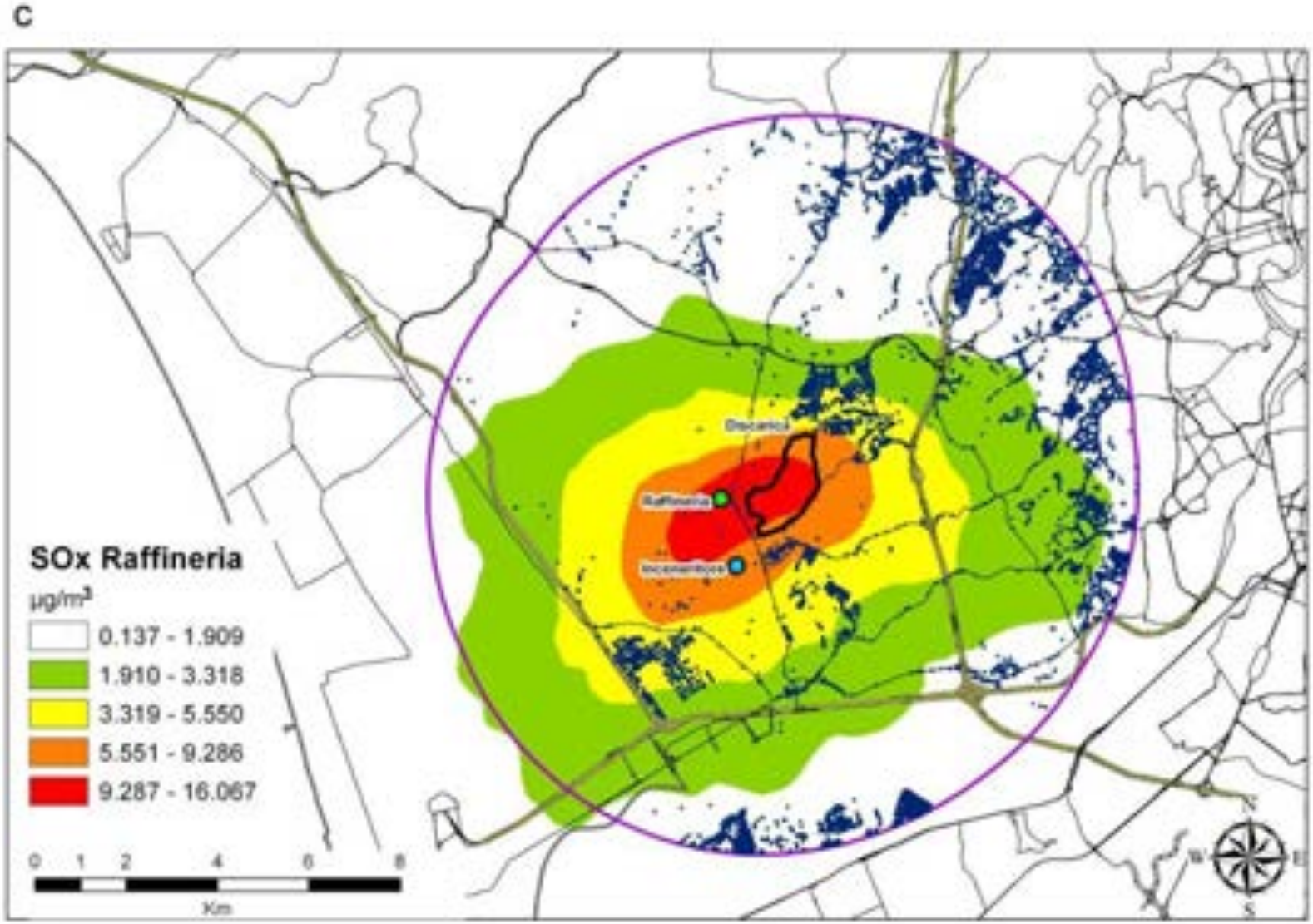


Figura 1 (d). Concentrazioni di polveri sottili (PM_{10}) dall'inceneritore di rifiuti speciali

d

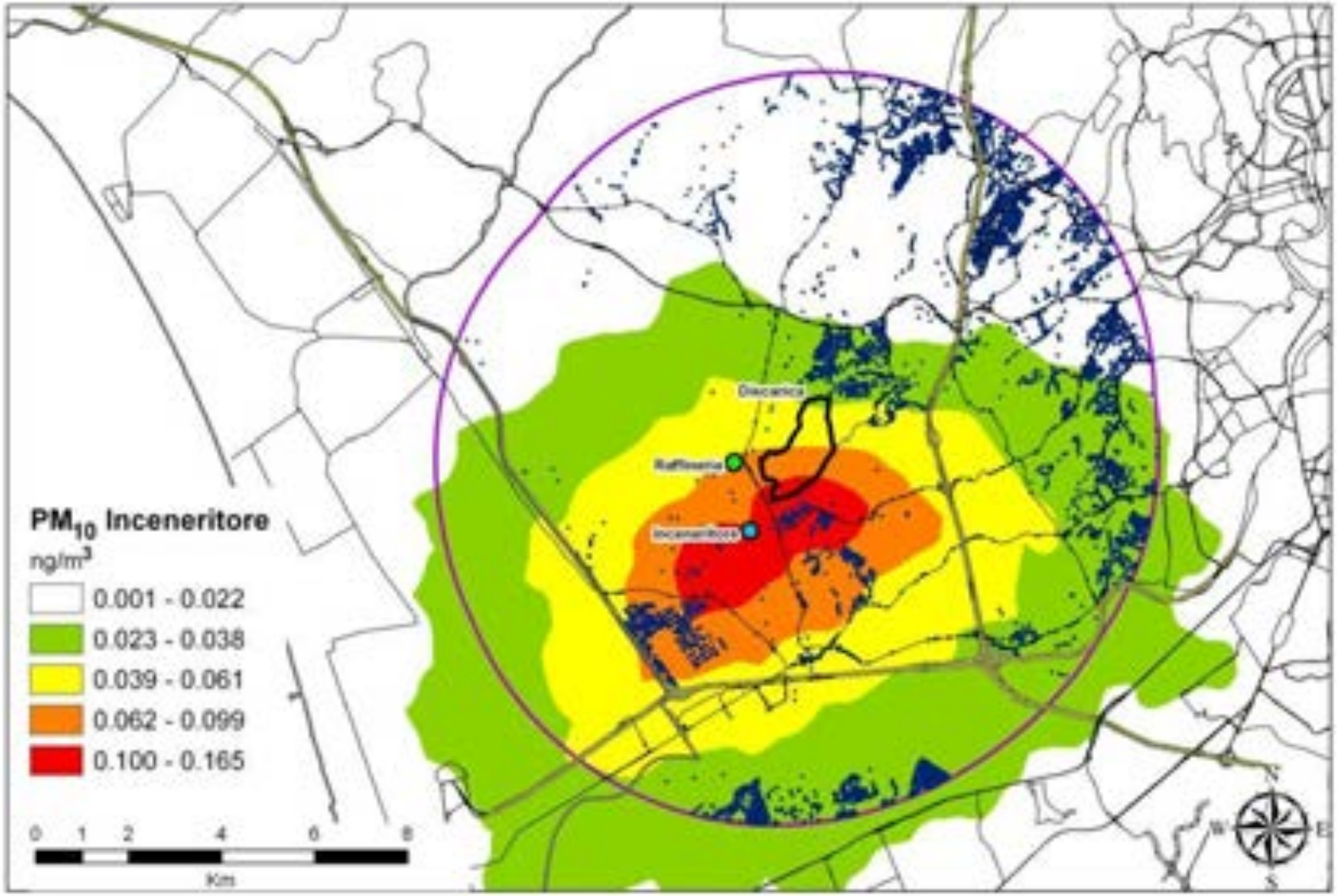

PM10 Inceneritore
ng/m3
0.001 - 0.022
0.023 - 0.038
0.039 - 0.061
0.062 - 0.099
0.100 - 0.165
0 1 2 4 6 8
Km

Figura 2. Distribuzione della popolazione per concentrazione di inquinante: H_2S (µg/m^3) dalla discarica, SO_X (µg/m^3) dalla raffineria e PM_{10} (ng/m^3) dall'inceneritore per rifiuti speciali

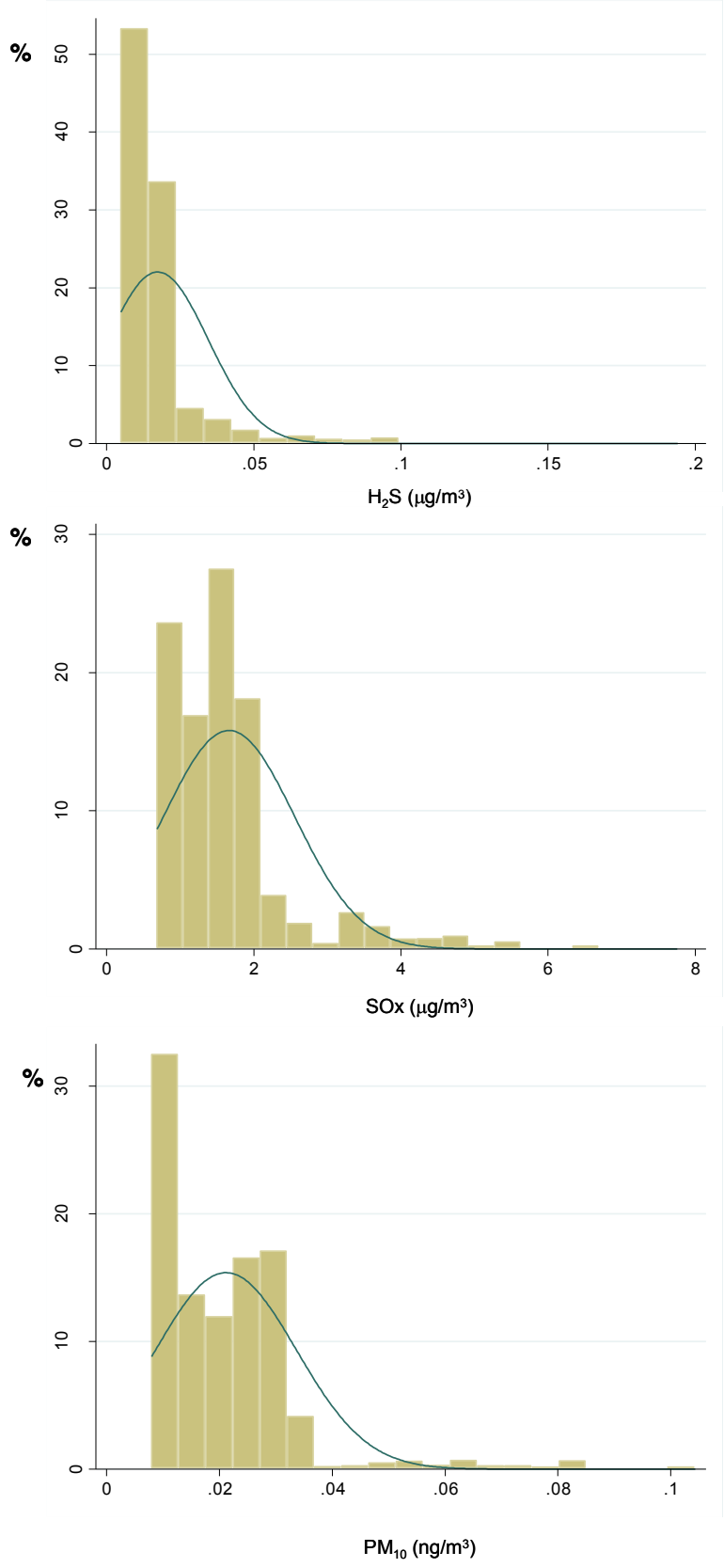


Tabella 1. Distribuzione di frequenza degli indicatori ambientali attribuiti ai membri della coorte

Inquinanti	media	ds	p25	p50	p75	p90	p95-p5
H_2S (µg/m^3)	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04
SOx (µg/m^3)	1.67	0.92	1.05	1.52	1.93	2.52	2.88
PM_{10} (ng/m^3)	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03

Coefficiente di Correlazione di Pearson

Inquinanti	H_2S	SOx	PM_{10}
H_2S	1.00		
SOx	0.78	1.00	
PM_{10}	0.75	0.81	1.00

Figura 3 (a). Area di Malagrotta e autostrade

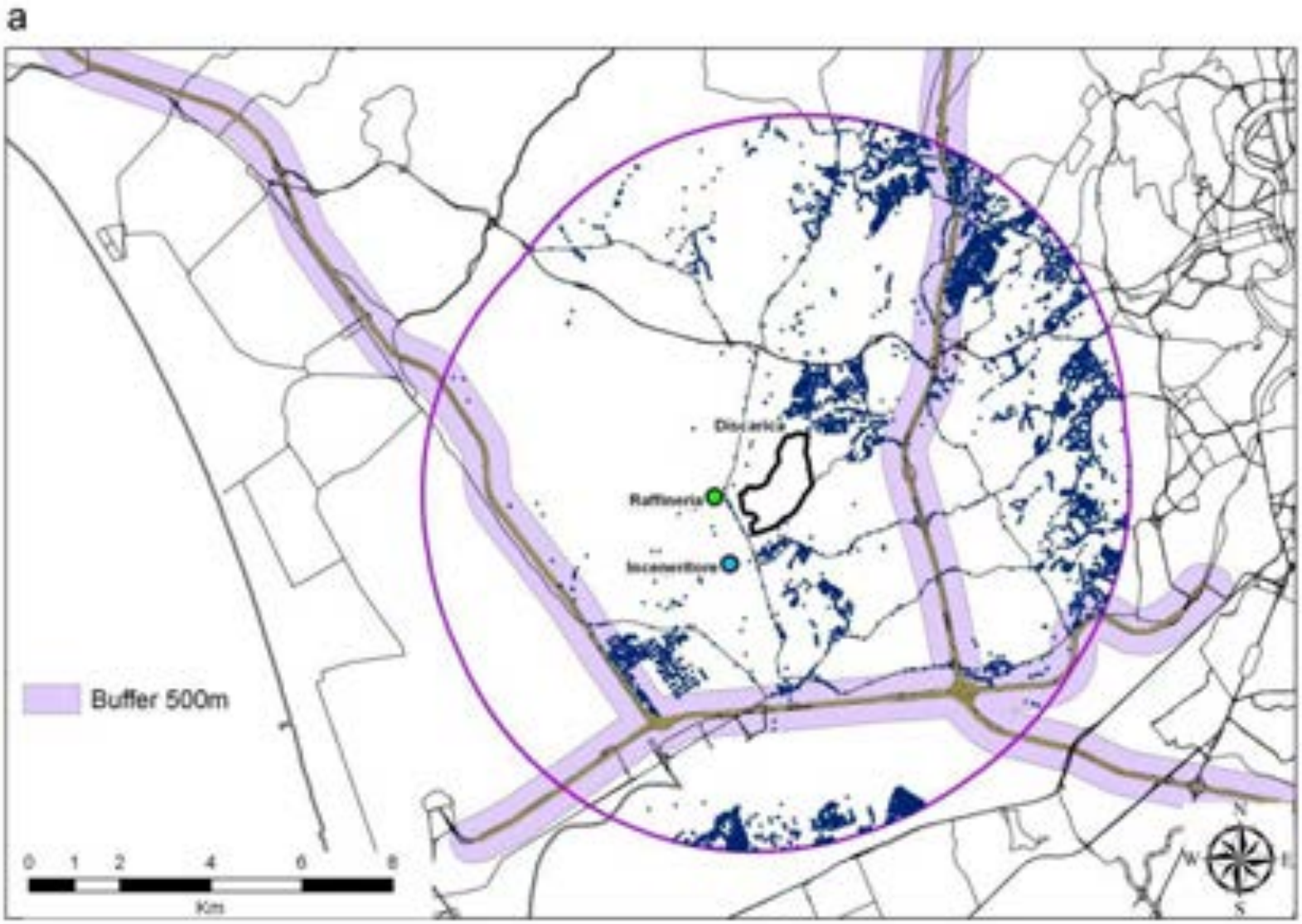


Figura 3 (b). Area di Malagrotta e strade principali

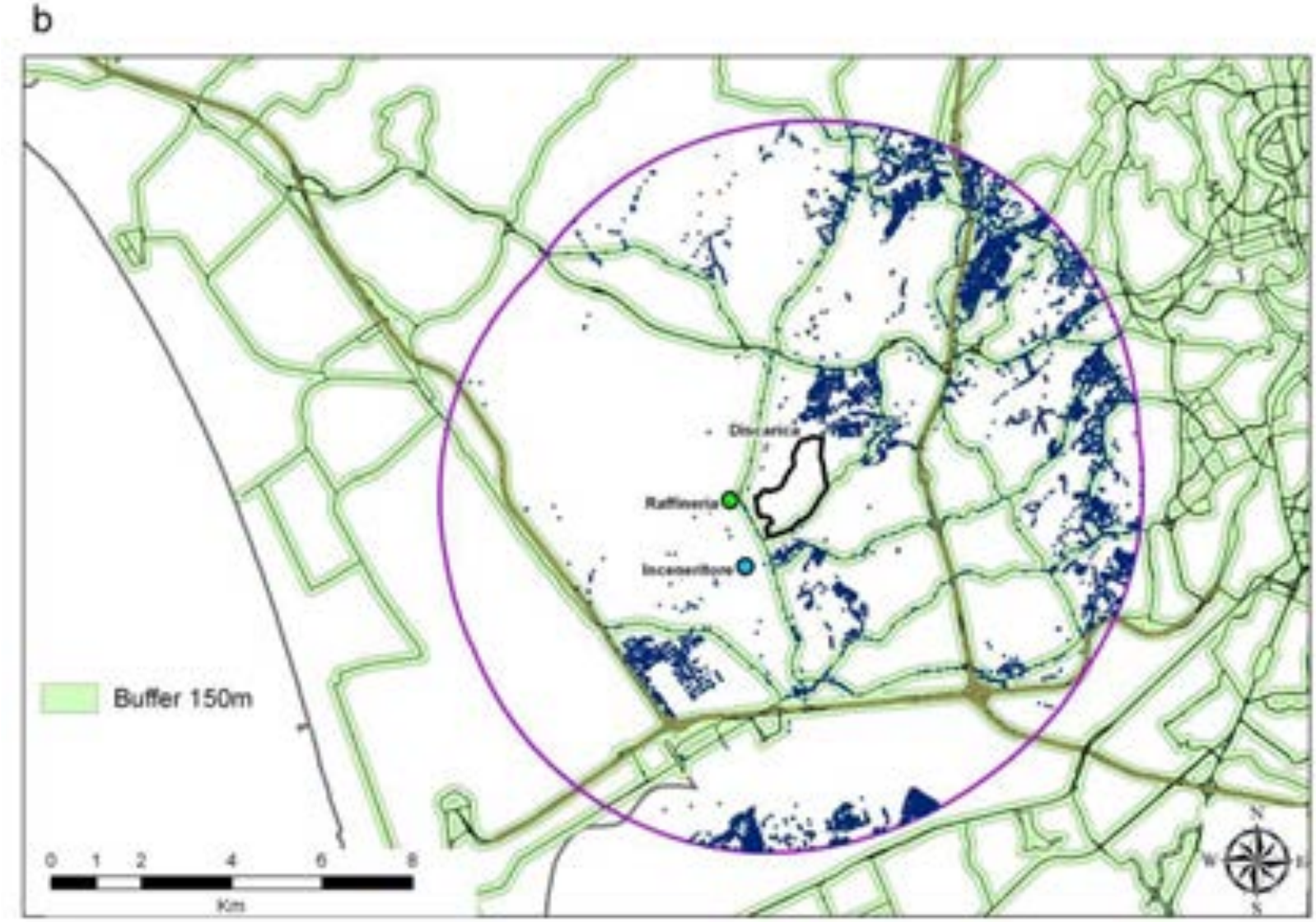


Figura 3 (c). Area di Malagrotta e concentrazioni di NO_2 (µg/m^3) da traffico veicolare

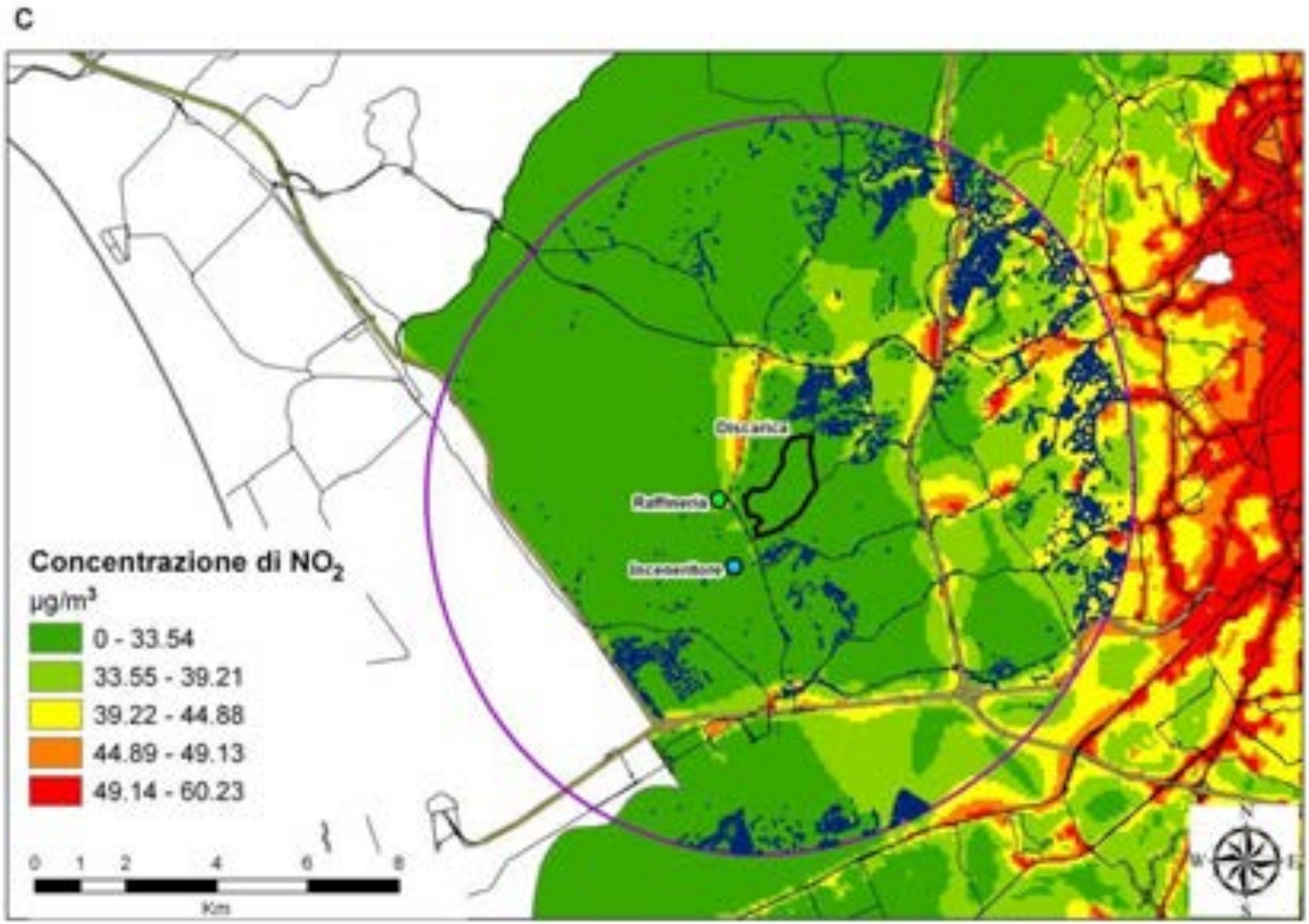


Figura 3 (d). Area di Malagrotta e concentrazioni di NO_2 (µg/m^3) da trasporto di rifiuti solidi urbani

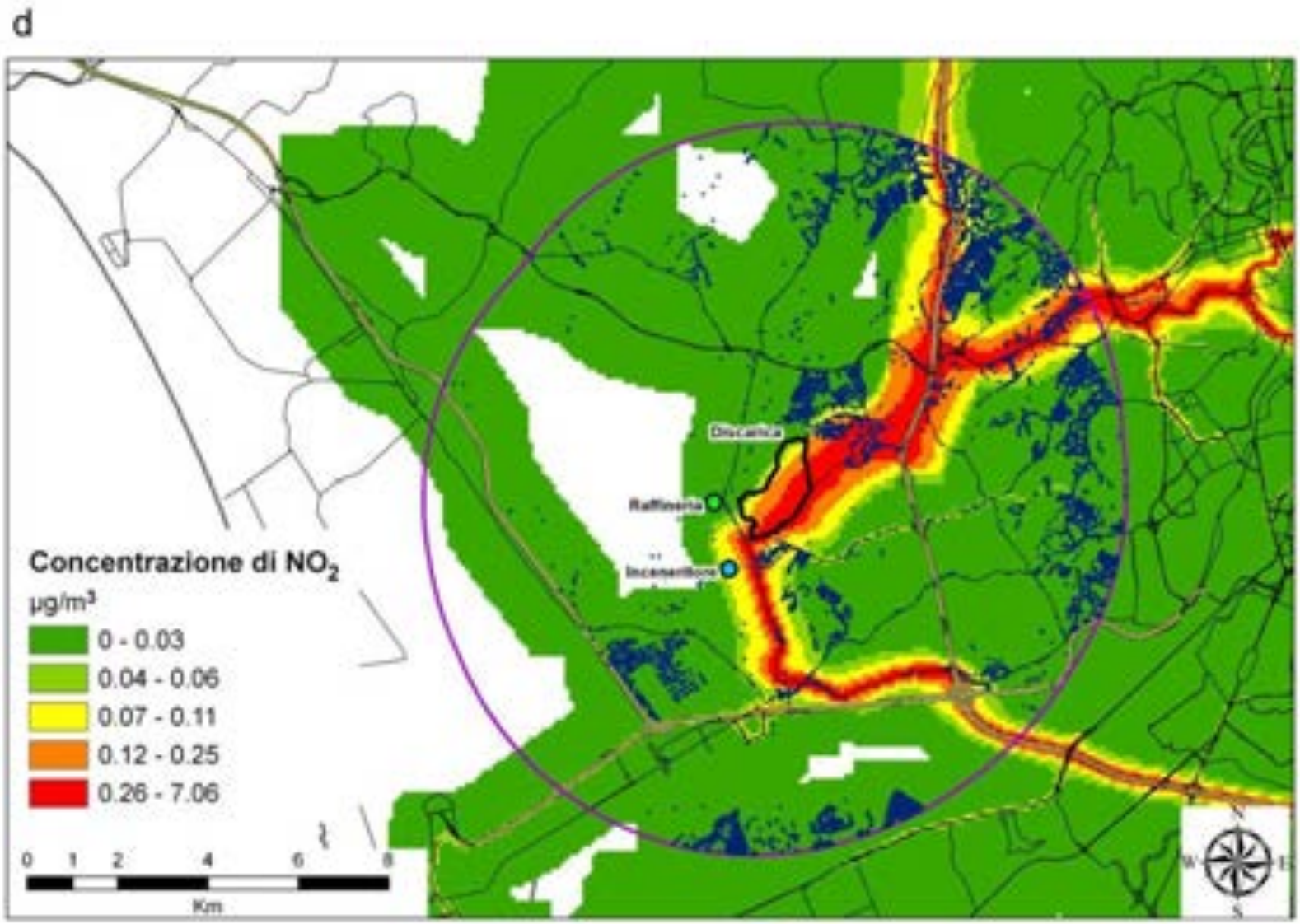

d
Discarica
Raffineria
Inceneritore
Concentrazione di NO_2
µg/m³
0 - 0.03
0.04 - 0.06
0.07 - 0.11
0.12 - 0.25
0.26 - 7.06
0 1 2 4 6 8
Km

Tabella 2. Caratteristiche principali della coorte dei residenti nell'area di Malagrotta per livello di esposizione agli inquinanti: H_2S (discarica), SO_X (raffineria) e PM_{10} (inceneritore per rifiuti speciali)

Variabile		H_2S			SOx			PM_{10}		
		<50°	50°-90°	>90°	<50°	50°-90°	>90°	<50°	50°-90°	>90°
		%	%	%	%	%	%	%	%	%
Totale	85,559	45,208	31,774	8,577	43,688	33,264	8,607	42,249	34,634	8,676
Sesso										
Femmine	44,181	*52.0*	*51.4*	*50.6*	*52.0*	*51.5*	*50.6*	*51.9*	*51.4*	*51.2*
Maschi	41,378	*48.0*	*48.6*	*49.4*	*48.0*	*48.5*	*49.4*	*48.1*	*48.6*	*48.8*
Classe di età (anni)										
5-14	2,815	*3.2*	*3.3*	*3.8*	*3.2*	*3.3*	*3.8*	*3.2*	*3.4*	*3.4*
15-44	32,659	*37.5*	*38.4*	*41.0*	*37.7*	*38.0*	*40.9*	*37.6*	*38.2*	*41.2*
45-64	26,844	*30.9*	*32.1*	*31.0*	*31.1*	*31.8*	*31.1*	*31.1*	*32.2*	*29.3*
>65	23,241	*28.4*	*26.2*	*24.1*	*28.0*	*26.9*	*24.1*	*28.2*	*26.2*	*26.2*
Livello di istruzione										
Basso	53,213	*61.8*	*61.2*	*68.2*	*62.0*	*61.0*	*68.0*	*61.5*	*60.9*	*71.1*
Medio	25,892	*30.2*	*31.2*	*27.1*	*30.1*	*31.3*	*27.3*	*30.5*	*31.5*	*24.2*
Alto	6,454	*8.0*	*7.6*	*4.7*	*7.9*	*7.7*	*4.8*	*8.1*	*7.6*	*4.7*
Occupazione										
Lavoratori non manuali	18,069	*20.9*	*22.3*	*17.8*	*20.7*	*22.4*	*18.0*	*21.1*	*22.5*	*15.8*
Lavoratori manuali	14,839	*16.9*	*17.0*	*20.9*	*17.0*	*16.9*	*20.8*	*17.0*	*17.1*	*19.8*
Pensionati	12,913	*15.7*	*14.6*	*13.7*	*15.5*	*14.9*	*13.7*	*15.6*	*14.8*	*14.1*
Disoccupati	17,158	*20.2*	*20.1*	*19.2*	*20.3*	*19.9*	*19.2*	*20.1*	*19.4*	*22.4*
Casalinghe	13,975	*16.6*	*15.9*	*16.8*	*16.6*	*15.9*	*16.7*	*16.4*	*15.9*	*17.4*
dato mancante	8,605	*9.8*	*10.0*	*11.6*	*9.8*	*10.0*	*11.6*	*9.8*	*10.3*	*10.4*
Stato Civile										
Coniugato	45,074	*52.8*	*51.8*	*55.0*	*52.9*	*51.8*	*55.2*	*52.9*	*52.5*	*52.5*
Celibe/Nubile	31,355	*36.4*	*37.2*	*36.1*	*36.5*	*37.1*	*36.1*	*36.4*	*36.9*	*37.0*
Separato/Divorziato	3,440	*3.8*	*4.5*	*3.7*	*3.8*	*4.4*	*3.7*	*3.7*	*4.3*	*4.4*
Vedovo	5,690	*7.0*	*6.5*	*5.1*	*6.9*	*6.8*	*5.1*	*7.0*	*6.3*	*6.2*
Luogo di Nascita										
Roma	54,332	*61.9*	*65.5*	*64.5*	*62.0*	*65.2*	*64.4*	*62.0*	*64.8*	*65.6*
Altro	31,227	*38.1*	*34.5*	*35.5*	*38.0*	*34.8*	*35.6*	*38.0*	*35.2*	*34.4*
Posizione socio-economica										
1 (Alto)	14,447	*21.7*	*13.2*	*5.4*	*21.6*	*13.7*	*5.3*	*20.7*	*13.8*	*10.4*
2	18,514	*16.3*	*32.7*	*9.0*	*15.1*	*33.3*	*9.9*	*17.3*	*30.5*	*7.1*
3 (Basso)	52,598	*62.0*	*54.2*	*85.6*	*63.4*	*52.9*	*84.8*	*62.0*	*55.6*	*82.4*
Strade principali										
<= 150 m	40,298	*62.1*	*31.5*	*25.7*	*61.4*	*33.9*	*25.5*	*62.6*	*33.7*	*24.9*
Autostrade										
<= 500 m	9,309	*13.5*	*5.8*	*15.7*	*14.0*	*5.4*	*16.5*	*14.8*	*4.1*	*18.8*
Concentrazione di NO_2 (µg/m^3)										
da modello Land Use Regression										
< = 30	14,705	*13.9*	*16.5*	*37.3*	*14.8*	*15.1*	*37.6*	*14.3*	*14.5*	*42.1*
> 30 and <=40	41,790	*52.1*	*41.6*	*58.4*	*53.9*	*39.8*	*58.2*	*52.5*	*43.4*	*52.9*
> 40	29,064	*34.0*	*41.9*	*4.3*	*31.3*	*45.2*	*4.3*	*33.2*	*42.2*	*5.0*
da trasporto rifiuti										
<= 0.101	76,960	*85.3*	*98.6*	*82.5*	*85.2*	*98.4*	*81.7*	*83.8*	*99.0*	*83.8*
0.101- 0.856	6,877	*11.9*	*1.1*	*13.6*	*12.0*	*1.2*	*14.3*	*13.1*	*0.9*	*11.9*
> 0.856	1,722	*2.9*	*0.3*	*4.0*	*2.8*	*0.4*	*4.0*	*3.1*	*0.1*	*4.3*
Stato in Vita										
Vivo	70,397	*81.9*	*82.5*	*83.6*	*82.0*	*82.3*	*83.8*	*82.1*	*82.4*	*82.9*
Deceduto	6,187	*7.6*	*7.0*	*6.1*	*7.5*	*7.2*	*6.1*	*7.5*	*6.9*	*7.2*
Emigrato	8,975	*10.5*	*10.5*	*10.3*	*10.5*	*10.5*	*10.1*	*10.5*	*10.7*	*9.8*
Anni Persona (Totale 725,591)										
2001 - 2004	266,908	*36.9*	*36.7*	*36.7*	*36.8*	*36.8*	*36.6*	*36.8*	*36.8*	*36.7*
2005 - 2007	237,552	*32.7*	*32.8*	*32.7*	*32.7*	*32.8*	*32.7*	*32.8*	*32.8*	*32.7*
2008 - 2010	221,131	*30.4*	*30.5*	*30.7*	*30.4*	*30.5*	*30.7*	*30.4*	*30.5*	*30.6*

Tabella 3. Rischi relativi (Hazard Ratios, HR) di mortalità aggiustati per età, SES, livello di istruzione, tipo di occupazione e livelli di NO_2 da traffico stradale e relativi intervalli di confidenza (IC) al 95% per le diverse fasce di distanza dall'area di Malagrotta

a) Uomini

CAUSA (ICD-9-CM)	5-7 Km	1-2 Km				0-1 Km				0-2 Km				Trend lineare (per 1 Km)			
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-799)	2,699	126	0.92	0.77	1.10	74	1.02	0.81	1.29	200	0.96	0.82	1.11	3,233	1.00	0.97	1.03
Tumori maligni (140-208)	1,104	41	0.75	0.55	1.03	30	0.95	0.65	1.37	71	0.82	0.64	1.05	1,303	0.98	0.94	1.02
Stomaco (151)	65	5	1.72	0.67	4.39	2	0.96	0.23	4.02	7	1.40	0.62	3.17	82	1.04	0.90	1.21
Colon retto (153-154)	128	6	0.89	0.38	2.04	5	1.22	0.49	3.03	11	1.01	0.53	1.91	149	1.00	0.89	1.13
Primitivi del fegato (155.0)	37	0	-	-	-	2	2.05	0.47	8.90	2	0.70	0.16	3.02	40	0.90	0.68	1.18
Pancreas (157)	41	4	1.90	0.65	5.54	1	-	-	-	5	1.46	0.55	3.88	52	1.10	0.92	1.31
Laringe (161)	23	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	26	0.70	0.43	1.15
Trachea, bronchi e polmoni (162)	361	8	**0.47**	**0.23**	**0.96**	8	0.79	0.39	1.60	16	**0.59**	**0.35**	**0.98**	416	0.95	0.88	1.02
Vescica (188)	46	3	1.23	0.37	4.06	0	-	-	-	3	0.76	0.23	2.52	61	1.02	0.86	1.22
Rene (189)	34	0	-	-	-	2	1.93	0.44	8.36	2	0.69	0.16	2.98	39	1.05	0.85	1.31
Encefalo (191)	22	0	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	26	0.99	0.74	1.32
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	98	1	-	-	-	1	-	-	-	2	0.28	0.07	1.17	113	0.89	0.75	1.05
Malattie sistema circolatorio (390-459)	957	51	1.02	0.76	1.36	24	1.01	0.67	1.52	75	1.02	0.80	1.30	1,145	1.00	0.95	1.04
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	404	28	1.33	0.89	1.98	11	1.05	0.57	1.93	39	1.24	0.88	1.74	491	1.03	0.97	1.10
Malattie apparato respiratorio (460-519)	178	12	1.17	0.64	2.14	6	1.30	0.57	2.98	18	1.21	0.73	2.01	230	1.08	0.99	1.18
Malattie apparato digerente (520-579)	111	7	1.25	0.57	2.75	5	1.64	0.66	4.12	12	1.39	0.75	2.59	140	1.02	0.91	1.15
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	41	4	2.41	0.82	7.07	1	-	-	-	5	1.87	0.70	5.04	47	1.12	0.92	1.35

b) Donne

CAUSA (ICD-9-CM)	5-7 Km	1-2 Km				0-1 Km				0-2 Km				Trend lineare (per 1 Km)			
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-799)	2,272	89	0.94	0.76	1.17	41	0.80	0.59	1.10	130	0.89	0.74	1.07	2,645	0.97	0.94	1.00
Tumori maligni (140-208)	769	27	0.82	0.56	1.21	18	0.93	0.58	1.49	45	0.86	0.63	1.17	893	0.97	0.92	1.02
Stomaco (151)	50	2	0.80	0.19	3.34	1	-	-	-	3	0.75	0.23	2.45	63	1.01	0.85	1.21
Colon retto (153-154)	86	3	0.73	0.22	2.36	2	0.93	0.22	3.82	5	0.80	0.31	2.02	95	0.93	0.78	1.10
Primitivi del fegato (155.0)	15	0	-	-	-	1	-	-	-	1	1.33	0.16	11.1	17	0.98	0.65	1.49
Pancreas (157)	46	2	0.89	0.21	3.76	2	1.69	0.40	7.17	4	1.17	0.41	3.35	64	1.07	0.90	1.27
Laringe (161)	3	2	**13.1**	-	-	1	-	-	-	3	**11.2**	-	-	6	**1.56**	**1.08**	**2.26**
Trachea, bronchi e polmoni (162)	134	6	1.33	0.57	3.09	3	1.17	0.36	3.73	9	1.27	0.63	2.56	155	1.01	0.89	1.15
Mammella (174)	133	4	0.56	0.21	1.54	1	-	-	-	5	**1.14**	**1.00**	**1.31**	155	0.88	0.76	1.00
Vescica (188)	11	1	2.79	0.32	24.3	0	-	-	-	1	1.87	0.22	16.3	12	1.00	0.63	1.59
Rene (189)	14	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	15	0.75	0.41	1.39
Encefalo (191)	14	0	-	-	-	1	2.12	0.26	17.0	1	0.75	0.09	6.02	18	0.97	0.69	1.36
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	61	2	0.74	0.18	3.12	1	0.67	0.09	4.93	3	0.71	0.22	2.35	67	0.93	0.76	1.15
Malattie sistema circolatorio (390-459)	938	45	1.17	0.86	1.60	17	0.94	0.58	1.52	62	1.10	0.84	1.43	1,095	0.99	0.95	1.04
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	303	20	**1.69**	**1.05**	**2.70**	8	1.43	0.70	2.91	28	**1.60**	**1.06**	**2.41**	356	1.05	0.97	1.14
Malattie apparato respiratorio (460-519)	134	3	0.64	0.20	2.06	1	0.43	0.06	3.12	4	0.57	0.21	1.58	154	0.87	0.74	1.02
Malattie apparato digerente (520-579)	85	3	0.69	0.22	2.24	1	0.44	0.06	3.19	4	0.61	0.22	1.68	99	0.92	0.78	1.08
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	36	1	0.71	0.09	5.38	1	1.41	0.19	10.7	2	0.95	0.22	4.12	42	1.05	0.84	1.32

Tabella 4. Esposizione alle emissioni dalla discarica (livelli di concentrazione di H_2S): Hazard Ratios (HR) di mortalità e i relativi intervalli di confidenza (IC) al 95%

a) Uomini

CAUSA (ICD-9-CM)	<50° percentile	>90° percentile					Test per il trend (per 0.043 µg/m^3)			
	n	n	HR	I.C. 95%		r.e.	n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-799)	1,753	295	1.05	0.92	1.21	0.10	3,233	1.00	0.94	1.06
Tumori maligni (140-208)	702	115	0.96	0.77	1.18	0.26	1,303	0.93	0.83	1.03
Stomaco (151)	44	9	0.99	0.45	2.19	0.20	82	0.89	0.58	1.38
Colon retto (153-154)	85	16	1.06	0.61	1.85	0.92	149	0.86	0.59	1.25
Primitivi del fegato (155.0)	21	2	0.55	0.12	2.44	0.32	40	0.77	0.30	1.95
Pancreas (157)	27	8	1.81	0.79	4.13	0.93	52	1.11	0.86	1.43
Laringe (161)	15	1	-	-	-	-	26	0.53	0.10	2.95
Trachea, bronchi e polmoni (162)	211	32	0.88	0.60	1.29	0.89	416	0.93	0.76	1.13
Vescica (188)	37	8	1.24	0.56	2.77	0.93	61	0.88	0.51	1.52
Rene (189)	18	3	1.04	0.30	3.63	0.94	39	1.00	0.60	1.69
Encefalo (191)	16	2	0.90	0.20	4.09	0.95	26	0.88	0.35	2.23
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	65	7	0.61	0.28	1.36	0.43	113	0.83	0.51	1.35
Malattie sistema circolatorio (390-459)	642	101	1.06	0.85	1.32	0.87	1,145	1.01	0.93	1.11
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	287	49	1.10	0.80	1.50	0.89	491	1.00	0.86	1.16
Malattie apparato respiratorio (460-519)	116	23	1.28	0.79	2.07	0.23	230	1.04	0.89	1.23
Malattie apparato digerente (520-579)	77	18	1.25	0.73	2.16	0.34	140	1.09	0.92	1.29
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	24	6	1.62	0.64	4.14	0.94	47	0.89	0.46	1.73

b) Donne

CAUSA (ICD-9-CM)	<50° percentile	>90° percentile					Test per il trend (per 0.043 μg/m^3)			
	n	n	HR	I.C. 95%		r.e.	n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-799)	1,520	199	0.87	0.75	1.02	0.82	2,645	0.98	0.91	1.06
Tumori maligni (140-208)	526	75	0.90	0.70	1.16	0.87	893	1.00	0.89	1.13
Stomaco (151)	39	6	0.83	0.34	2.05	0.35	63	0.91	0.54	1.52
Colon retto (153-154)	52	5	0.65	0.25	1.65	0.93	95	0.84	0.48	1.48
Primitivi del fegato (155.0)	10	2	1.76	0.34	8.96	0.60	17	1.10	0.52	2.30
Pancreas (157)	31	11	1.92	0.93	3.98	0.78	64	1.13	0.88	1.44
Laringe (161)	1	3	**17.5**	-	-	0.62	6	**1.36**	**1.02**	**1.83**
Trachea, bronchi e polmoni (162)	83	14	1.19	0.66	2.14	0.24	155	1.11	0.91	1.34
Mammella (174)	98	12	0.72	0.39	1.34	0.24	155	0.65	0.38	1.13
Vescica (188)	5	1	-	-	-	-	12	**1.35**	**1.00**	**1.82**
Rene (189)	12	0	-	-	-	-	15	0.03	0.00	2.50
Encefalo (191)	11	2	1.14	0.24	5.43	0.95	18	0.93	0.37	2.31
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	41	4	0.63	0.22	1.80	0.94	67	0.56	0.21	1.48
Malattie sistema circolatorio (390-459)	605	83	0.98	0.77	1.25	0.27	1,095	1.01	0.90	1.13
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	202	31	1.16	0.79	1.72	0.26	356	1.09	0.94	1.26
Malattie apparato respiratorio (460-519)	93	8	0.59	0.28	1.27	0.13	154	0.68	0.37	1.24
Malattie apparato digerente (520-579)	53	7	0.79	0.34	1.82	0.21	99	0.94	0.61	1.43
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	27	3	0.85	0.25	2.91	0.94	42	0.90	0.41	1.98

Tabella 5. Esposizione alle emissioni dalla raffineria (livelli di concentrazione di SO_X): Hazard Ratios (HR) di mortalità e i relativi intervalli di confidenza (IC) al 95%

a) Uomini

CAUSA (ICD-9-CM)	<50° percentile	>90° percentile					Test per il trend (per 2.882 μg/m^3)			
	n	n	HR	I.C. 95%		r.e.	n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-799)	1,677	295	1.05	0.92	1.20	0.15	3,233	1.04	0.92	1.18
Tumori maligni (140-208)	669	116	0.97	0.79	1.19	0.27	1,303	0.95	0.79	1.14
Stomaco (151)	44	9	0.98	0.44	2.14	0.21	82	0.85	0.41	1.77
Colon retto (153-154)	79	16	1.10	0.63	1.91	0.92	149	0.68	0.38	1.24
Primitivi del fegato (155.0)	20	2	0.54	0.12	2.40	0.33	40	0.62	0.17	2.23
Pancreas (157)	25	8	1.85	0.81	4.23	0.93	52	1.62	0.80	3.26
Laringe (161)	15	1	-	-	-	-	26	0.82	0.18	3.85
Trachea, bronchi e polmoni (162)	203	33	0.90	0.62	1.31	0.65	416	0.94	0.68	1.30
Vescica (188)	35	8	1.27	0.57	2.83	0.93	61	1.14	0.54	2.43
Rene (189)	16	3	1.10	0.31	3.86	0.94	39	1.17	0.44	3.14
Encefalo (191)	16	2	0.87	0.19	3.93	0.95	26	0.69	0.15	3.18
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	60	7	0.63	0.28	1.41	0.75	113	0.89	0.47	1.69
Malattie sistema circolatorio (390-459)	615	101	1.06	0.85	1.32	0.87	1,145	1.08	0.89	1.31
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	276	49	1.10	0.80	1.50	0.89	491	1.05	0.79	1.41
Malattie apparato respiratorio (460-519)	111	23	1.27	0.78	2.07	0.24	230	1.31	0.88	1.95
Malattie apparato digerente (520-579)	72	18	1.30	0.75	2.24	0.34	140	1.21	0.75	1.94
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	23	5	1.33	0.49	3.63	0.94	47	0.92	0.34	2.48

b) Donne

CAUSA (ICD-9-CM)	<50° percentile	>90° percentile					Test per il trend (per 2.882 μg/m^3)			
	n	n	HR	I.C. 95%		r.e.	n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-799)	1,448	199	0.88	0.75	1.02	0.82	2,645	0.93	0.81	1.07
Tumori maligni (140-208)	498	75	0.91	0.71	1.17	0.87	893	0.97	0.77	1.22
Stomaco (151)	36	6	0.88	0.35	2.17	0.34	63	1.07	0.49	2.33
Colon retto (153-154)	53	5	0.60	0.24	1.53	0.93	95	0.79	0.36	1.70
Primitivi del fegato (155.0)	9	2	1.84	0.36	9.42	0.53	17	1.61	0.38	6.87
Pancreas (157)	29	11	1.97	0.95	4.09	0.78	64	**1.75**	**1.02**	**3.01**
Laringe (161)	1	3	**17.5**	-	-	0.62	6	**4.99**	**1.64**	**15.2**
Trachea, bronchi e polmoni (162)	80	14	1.17	0.65	2.10	0.25	155	1.38	0.84	2.26
Mammella (174)	90	12	0.77	0.41	1.45	0.29	155	0.72	0.39	1.33
Vescica (188)	4	1	-	-	-	-	12	2.82	0.76	10.42
Rene (189)	11	0	-	-	-	-	15	0.04	0.00	1.47
Encefalo (191)	11	2	1.10	0.23	5.20	0.95	18	1.12	0.25	5.05
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	39	4	0.63	0.22	1.80	0.94	67	0.40	0.13	1.23
Malattie sistema circolatorio (390-459)	581	83	0.98	0.77	1.24	0.27	1,095	1.00	0.81	1.25
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	190	31	1.18	0.80	1.75	0.27	356	1.25	0.89	1.75
Malattie apparato respiratorio (460-519)	88	8	0.59	0.27	1.26	0.13	154	0.64	0.32	1.28
Malattie apparato digerente (520-579)	48	7	0.83	0.36	1.92	0.24	99	0.84	0.40	1.78
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	27	3	0.84	0.24	2.87	0.94	42	0.77	0.23	2.61

Tabella 6. Esposizione alle emissioni dell'inceneritore (livelli di concentrazione di PM_{10}): Hazard Ratios (HR) di mortalità e i relativi intervalli di confidenza (IC) al 95%

a) Uomini

CAUSA (ICD-9-CM)	<50° percentile	>90° percentile					Test per il trend (per 0.027 ng/m^3)			
	n	n	HR	I.C. 95%		r.e.	n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-799)	1,628	334	**1.19**	**1.05**	**1.36**	0.23	3,233	1.04	0.98	1.11
Tumori maligni (140-208)	657	137	1.10	0.90	1.35	0.28	1,303	1.02	0.92	1.12
Stomaco (151)	42	9	0.92	0.41	2.06	0.20	82	0.89	0.60	1.34
Colon retto (153-154)	80	12	0.79	0.42	1.48	0.92	149	0.82	0.58	1.16
Primitivi del fegato (155.0)	22	3	0.58	0.16	2.14	0.30	40	0.66	0.29	1.50
Pancreas (157)	24	8	1.89	0.82	4.37	0.93	52	**1.40**	**1.03**	**1.90**
Laringe (161)	12	3	1.52	0.38	6.09	0.33	26	1.01	0.49	2.09
Trachea, bronchi e polmoni (162)	200	50	1.33	0.96	1.85	0.65	416	1.04	0.88	1.23
Vescica (188)	35	8	1.18	0.53	2.65	0.93	61	1.05	0.70	1.57
Rene (189)	18	6	2.19	0.83	5.79	0.94	39	1.08	0.63	1.86
Encefalo (191)	16	3	1.44	0.40	5.20	0.95	26	0.68	0.22	2.07
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	58	11	1.01	0.52	1.98	0.41	113	1.11	0.83	1.49
Malattie sistema circolatorio (390-459)	593	102	1.15	0.92	1.43	0.87	1,145	1.02	0.91	1.13
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	270	48	1.11	0.80	1.52	0.89	491	0.96	0.81	1.13
Malattie apparato respiratorio (460-519)	114	29	**1.82**	**1.18**	**2.81**	0.28	230	1.12	0.91	1.38
Malattie apparato digerente (520-579)	70	16	1.08	0.61	1.93	0.34	140	1.09	0.85	1.40
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	23	3	0.76	0.22	2.60	0.94	47	0.81	0.42	1.54

b) Donne

CAUSA (ICD-9-CM)	<50° percentile	>90° percentile					Test per il trend (per 0.027 ng/m^3)			
	n	n	HR	I.C. 95%		r.e.	n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-799)	1,390	258	1.06	0.92	1.22	0.82	2,645	1.02	0.94	1.09
Tumori maligni (140-208)	476	93	1.05	0.83	1.32	0.87	893	1.04	0.92	1.17
Stomaco (151)	36	8	1.02	0.45	2.31	0.34	63	0.97	0.62	1.50
Colon retto (153-154)	50	9	1.10	0.53	2.29	0.93	95	0.69	0.40	1.19
Primitivi del fegato (155.0)	7	1	-	-	-	-	17	1.32	0.63	2.77
Pancreas (157)	27	9	1.46	0.66	3.21	0.93	64	**1.47**	**1.12**	**1.93**
Laringe (161)	1	2	8.19	-	-	0.32	6	**1.92**	**1.16**	**3.19**
Trachea, bronchi e polmoni (162)	70	20	1.62	0.96	2.73	0.29	155	1.24	0.96	1.60
Mammella (174)	89	16	0.92	0.53	1.59	0.26	155	0.97	0.71	1.33
Vescica (188)	4	1	-	-	-	-	12	1.53	0.70	3.36
Rene (189)	12	1	-	-	-	-	15	0.14	0.02	1.15
Encefalo (191)	11	2	1.07	0.22	5.13	0.95	18	1.00	0.41	2.43
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	41	4	0.55	0.19	1.57	0.94	67	0.61	0.31	1.19
Malattie sistema circolatorio (390-459)	562	108	1.18	0.95	1.46	0.27	1,095	1.03	0.92	1.16
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	184	36	1.27	0.88	1.83	0.66	356	1.06	0.87	1.30
Malattie apparato respiratorio (460-519)	78	11	0.80	0.41	1.58	0.14	154	0.86	0.59	1.25
Malattie apparato digerente (520-579)	48	10	1.08	0.51	2.28	0.20	99	1.10	0.78	1.56
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	26	6	1.62	0.63	4.16	0.94	42	0.69	0.30	1.58

Tabella 7. Hazard Ratio (HR) di ricovero ed Intervalli di confidenza (IC) al 95% per le diverse fasce di distanza dagli impianti dell'area di Malagrotta

a) Uomini

CAUSA (ICD-9-CM)	5-7 Km	1-2 Km				0-1 Km				0-2 Km				Trend lineare (per 1 Km)			
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	17,906	949	1.02	0.95	1.09	643	1.08	0.99	1.17	1,592	1.04	0.99	1.10	21,917	**1.02**	**1.01**	**1.03**
Tumori maligni (140-208)	2,758	115	**0.82**	**0.68**	**0.99**	84	0.98	0.78	1.22	199	0.88	0.76	1.02	3,258	0.99	0.96	1.01
Stomaco (151)	89	4	0.80	0.29	2.21	3	0.91	0.28	2.92	7	0.84	0.38	1.86	111	0.99	0.87	1.13
Colon retto (153-154)	311	19	1.22	0.76	1.96	8	0.83	0.41	1.68	27	1.07	0.71	1.61	370	1.01	0.94	1.09
Primitivi del fegato (1550)	56	1	-	-	-	3	1.66	0.51	5.46	4	0.82	0.29	2.32	65	0.97	0.81	1.16
Pancreas (157)	55	5	1.98	0.76	5.12	1	-	-	-	6	1.45	0.60	3.51	69	1.10	0.94	1.28
Laringe (161)	52	4	1.79	0.62	5.16	0	-	-	-	4	1.12	0.39	3.21	64	1.00	0.83	1.20
Trachea, bronchi e polmoni (162)	389	9	**0.48**	**0.25**	**0.94**	10	0.86	0.46	1.64	19	0.63	0.39	1.00	444	0.93	0.87	1.01
Vescica (188)	324	10	0.61	0.32	1.15	7	0.68	0.32	1.45	17	0.64	0.39	1.05	388	0.96	0.89	1.04
Rene (189)	92	3	0.62	0.19	1.99	3	0.96	0.30	3.07	6	0.75	0.32	1.75	111	0.99	0.86	1.13
Encefalo (191)	42	1	-	-	-	2	1.35	0.32	5.74	3	0.87	0.26	2.92	51	1.01	0.83	1.23
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	257	11	0.77	0.42	1.43	6	0.67	0.30	1.53	17	0.74	0.44	1.22	301	0.95	0.87	1.03
Disturbi ghiandola tiroidea (240-246)	273	16	1.13	0.67	1.89	15	1.52	0.89	2.59	31	1.29	0.88	1.90	335	**1.07**	**1.00**	**1.14**
Malattie sistema circolatorio (390-459)	5,195	294	1.12	0.99	1.26	180	1.07	0.92	1.24	474	**1.10**	**1.00**	**1.21**	6,324	**1.02**	**1.00**	**1.04**
Malattie cardiache (390-429)	3,293	194	**1.20**	**1.03**	**1.39**	111	1.07	0.88	1.29	305	**1.15**	**1.01**	**1.29**	4,001	**1.03**	**1.01**	**1.05**
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	1,506	77	1.00	0.79	1.26	44	0.90	0.66	1.22	121	0.96	0.79	1.16	1,786	0.99	0.96	1.02
Malattie cerebrovascolari (430-438)	1,137	70	1.13	0.88	1.44	48	1.32	0.99	1.78	118	1.20	0.99	1.46	1,398	1.03	0.99	1.07
Malattie apparato respiratorio (460-519)	2,640	153	1.07	0.90	1.26	89	0.96	0.78	1.20	242	1.03	0.90	1.18	3,244	1.01	0.99	1.04
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	639	26	0.71	0.48	1.06	21	0.95	0.61	1.48	47	0.80	0.59	1.09	786	0.98	0.94	1.03
Broncopneumatia cronico ostruttiva (490-492;494;496)	516	22	0.81	0.52	1.25	19	1.21	0.76	1.93	41	0.95	0.69	1.33	628	1.02	0.96	1.08
Asma (493)	108	5	0.85	0.34	2.12	4	0.87	0.32	2.41	9	0.86	0.43	1.74	134	1.01	0.90	1.13
Malattie apparato digerente (520-579)	4,965	265	1.02	0.90	1.16	178	1.03	0.88	1.20	443	1.02	0.92	1.13	6,079	1.01	0.99	1.03
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	1,157	71	1.20	0.94	1.53	44	1.19	0.88	1.62	115	1.19	0.98	1.46	1,444	**1.05**	**1.02**	**1.09**
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	286	16	1.08	0.65	1.81	7	0.80	0.38	1.72	23	0.98	0.63	1.51	344	1.00	0.92	1.08

b) Donne

CAUSA (ICD-9-CM)	5-7 Km	1-2 Km				0-1 Km				0-2 Km				Trend lineare (per 1 Km)			
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	19,780	1,042	**1.12**	**1.05**	**1.20**	662	1.03	0.96	1.12	1,704	**1.09**	**1.03**	**1.14**	23,957	**1.01**	**1.01**	**1.02**
Tumori maligni (140-208)	2,370	111	1.06	0.87	1.29	63	0.92	0.71	1.18	174	1.00	0.86	1.18	2,796	1.00	0.97	1.03
Stomaco (151)	82	2	0.47	0.11	1.93	1	-	-	-	3	0.44	0.14	1.43	97	0.93	0.80	1.09
Colon retto (153-154)	232	14	1.54	0.88	2.68	3	0.51	0.16	1.61	17	1.14	0.68	1.89	269	0.99	0.90	1.09
Primitivi del fegato (1550)	25	0	-	-	-	2	3.07	0.68	13.9	2	1.18	0.26	5.30	28	1.04	0.80	1.37
Pancreas (157)	57	3	1.20	0.37	3.94	2	1.32	0.31	5.54	5	1.25	0.48	3.21	74	1.10	0.94	1.27
Laringe (161)	6	2	**7.22**	**1.22**	**42.7**	1	-	-	-	3	**6.53**	**1.38**	**30.9**	9	**1.39**	**1.01**	**1.92**
Trachea, bronchi e polmoni (162)	133	7	1.32	0.61	2.88	4	1.27	0.46	3.49	11	1.30	0.69	2.46	156	1.03	0.92	1.16
Mammella (174)	621	22	0.79	0.51	1.21	16	0.85	0.52	1.41	38	0.81	0.58	1.14	731	0.98	0.93	1.04
Vescica (188)	78	2	0.66	0.16	2.75	3	1.67	0.51	5.44	5	1.04	0.41	2.64	89	0.95	0.79	1.13
Rene (189)	49	2	0.83	0.20	3.50	0	-	-	-	2	0.52	0.12	2.19	53	0.88	0.70	1.12
Encefalo (191)	32	3	1.99	0.58	6.82	2	2.33	0.53	10.2	5	2.16	0.79	5.87	40	1.08	0.88	1.33
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	176	6	0.85	0.37	1.95	5	1.09	0.44	2.70	11	0.95	0.51	1.78	205	0.99	0.89	1.10
Disturbi ghiandola tiroidea (240-246)	1,149	62	1.05	0.81	1.36	33	0.80	0.56	1.13	95	0.95	0.76	1.18	1,382	1.00	0.96	1.04
Malattie sistema circolatorio (390-459)	4,315	219	1.12	0.97	1.28	153	**1.26**	**1.07**	**1.48**	372	**1.17**	**1.05**	**1.31**	5,220	**1.03**	**1.01**	**1.05**
Malattie cardiache (390-429)	2,491	132	**1.22**	**1.02**	**1.46**	90	**1.38**	**1.11**	**1.70**	222	**1.28**	**1.11**	**1.47**	3,006	**1.04**	**1.02**	**1.07**
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	687	29	0.99	0.68	1.44	18	1.00	0.62	1.61	47	0.99	0.73	1.35	815	1.01	0.96	1.07
Malattie cerebrovascolari (430-438)	1,027	44	0.97	0.72	1.32	28	1.05	0.72	1.54	72	1.00	0.78	1.28	1,220	1.01	0.97	1.06
Malattie apparato respiratorio (460-519)	2,117	116	1.15	0.95	1.39	63	0.93	0.72	1.20	179	1.06	0.91	1.25	2,563	1.00	0.97	1.03
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	528	27	1.12	0.75	1.66	16	1.04	0.63	1.73	43	1.09	0.79	1.50	633	1.01	0.95	1.07
Broncopneumatia cronico ostruttiva (490-492;494;496)	390	15	0.88	0.52	1.48	10	0.97	0.52	1.84	25	0.91	0.60	1.38	457	0.97	0.91	1.05
Asma (493)	124	3	0.48	0.15	1.53	7	1.46	0.67	3.19	10	0.91	0.47	1.76	147	0.95	0.84	1.07
Malattie apparato digerente (520-579)	4,120	234	**1.20**	**1.04**	**1.37**	140	1.04	0.88	1.23	374	**1.13**	**1.01**	**1.26**	5,021	**1.02**	**1.00**	**1.04**
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	836	42	1.01	0.74	1.39	30	1.08	0.75	1.57	72	1.04	0.81	1.33	1,015	1.01	0.97	1.06
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	228	9	0.77	0.39	1.51	10	1.33	0.70	2.53	19	0.99	0.61	1.60	277	1.04	0.96	1.12

Tabella 8. Esposizione alla discarica: Hazard Ratio (HR) di ricovero e i relativi Intervalli di confidenza (IC) al 95% per i diversi livelli di concentrazione di H_2S

a) Uomini

CAUSA (ICD-9-CM)	<50° percentile	>90° percentile				Test per il trend (per 0.043 µg/m^3)			
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	11,672	2,250	1.02	0.96	1.08	21,917	1.00	0.98	1.03
Tumori maligni (140-208)	1,804	283	0.88	0.77	1.01	3,258	0.97	0.91	1.03
Stomaco (151)	58	10	0.83	0.40	1.69	111	0.81	0.51	1.28
Colon retto (153-154)	212	34	0.96	0.65	1.40	370	0.93	0.76	1.14
Primitivi del fegato (1550)	34	4	0.60	0.21	1.74	65	0.66	0.30	1.46
Pancreas (157)	31	8	1.65	0.72	3.76	69	1.10	0.85	1.42
Laringe (161)	36	7	1.18	0.51	2.76	64	0.90	0.51	1.58
Trachea, bronchi e polmoni (162)	240	34	0.79	0.55	1.15	444	0.94	0.79	1.13
Vescica (188)	220	35	0.96	0.67	1.39	388	0.90	0.73	1.11
Rene (189)	68	11	0.81	0.42	1.56	111	0.87	0.58	1.31
Encefalo (191)	31	3	0.58	0.17	1.93	51	0.95	0.56	1.61
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	173	21	**0.61**	**0.38**	**0.98**	301	0.86	0.67	1.11
Disturbi ghiandola tiroidea (240-246)	191	41	1.17	0.81	1.69	335	1.04	0.91	1.20
Malattie sistema circolatorio (390-459)	3,467	653	1.04	0.95	1.13	6,324	1.02	0.98	1.05
Malattie cardiache (390-429)	2,221	416	1.07	0.96	1.19	4,001	1.01	0.96	1.06
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	1,025	165	0.88	0.74	1.04	1,786	0.98	0.90	1.06
Malattie cerebrovascolari (430-438)	779	154	1.11	0.92	1.32	1,398	1.03	0.96	1.10
Malattie apparato respiratorio (460-519)	1,659	341	1.10	0.97	1.26	3,244	1.02	0.97	1.07
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	453	67	0.79	0.61	1.04	786	0.98	0.88	1.10
Broncopneumatia cronico ostruttiva (490-492;494;496)	331	68	1.14	0.83	1.55	628	0.98	0.86	1.13
Asma (493)	76	11	0.72	0.37	1.37	134	0.86	0.59	1.26
Malattie apparato digerente (520-579)	3,252	625	1.00	0.92	1.10	6,079	0.99	0.95	1.03
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	800	151	1.05	0.87	1.26	1,444	0.84	0.65	1.08
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	179	29	0.91	0.61	1.36	344	0.88	0.70	1.12

b) Donne

CAUSA (ICD-9-CM)	<50° percentile	>90° percentile				Test per il trend (per 0.043 µg/m^3)			
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	13,050	2,355	0.98	0.93	1.04	23,957	0.99	0.97	1.02
Tumori maligni (140-208)	1,567	235	0.93	0.81	1.07	2,796	0.99	0.93	1.06
Stomaco (151)	57	8	0.85	0.38	1.89	97	0.87	0.53	1.43
Colon retto (153-154)	147	18	0.83	0.50	1.37	269	0.89	0.66	1.20
Primitivi del fegato (1550)	16	3	1.33	0.37	4.81	28	1.22	0.97	1.54
Pancreas (157)	41	8	1.17	0.53	2.57	74	1.03	0.74	1.44
Laringe (161)	4	3	4.80	0.97	23.7	9	**1.36**	**1.08**	**1.72**
Trachea, bronchi e polmoni (162)	86	15	1.07	0.61	1.89	156	0.99	0.73	1.33
Mammella (174)	375	61	1.03	0.78	1.36	731	1.04	0.93	1.15
Vescica (188)	50	5	0.65	0.25	1.72	89	0.99	0.67	1.46
Rene (189)	30	4	0.79	0.27	2.29	53	0.76	0.33	1.72
Encefalo (191)	26	5	1.15	0.42	3.12	40	1.04	0.66	1.62
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	127	12	0.63	0.34	1.15	205	0.73	0.46	1.15
Disturbi ghiandola tiroidea (240-246)	826	136	0.85	0.69	1.05	1,382	0.92	0.82	1.02
Malattie sistema circolatorio (390-459)	2,920	522	1.07	0.97	1.19	5,220	**1.04**	**1.00**	**1.09**
Malattie cardiache (390-429)	1,705	304	1.12	0.98	1.27	3,006	**1.07**	**1.02**	**1.12**
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	471	65	0.88	0.67	1.14	815	1.01	0.90	1.13
Malattie cerebrovascolari (430-438)	708	105	0.95	0.75	1.19	1,220	0.97	0.86	1.08
Malattie apparato respiratorio (460-519)	1,413	245	0.96	0.82	1.12	2,563	0.95	0.88	1.02
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	375	58	0.91	0.67	1.23	633	0.95	0.81	1.11
Broncopneumatia cronico ostruttiva (490-492;494;496)	262	29	0.68	0.46	1.00	457	0.82	0.63	1.06
Asma (493)	82	12	0.79	0.42	1.47	147	0.86	0.60	1.24
Malattie apparato digerente (520-579)	2,711	533	1.09	0.98	1.20	5,021	0.99	0.94	1.03
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	600	99	0.91	0.73	1.14	1,015	0.93	0.82	1.05
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	164	30	1.02	0.68	1.52	277	1.04	0.88	1.22

Tabella 9. Esposizione alla raffineria: Hazard Ratio (HR) di ricovero e i relativi Intervalli di confidenza (IC) al 95% per i diversi livelli di concentrazione di SO_X

a) Uomini

CAUSA (ICD-9-CM)	<50° percentile	>90° percentile				Test per il trend (per 2.882 µg/m^3)			
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	11,256	2,261	1.02	0.97	1.08	21,917	1.00	0.95	1.05
Tumori maligni (140-208)	1,717	285	0.89	0.78	1.02	3,258	0.90	0.80	1.02
Stomaco (151)	59	10	0.79	0.39	1.62	111	0.71	0.36	1.38
Colon retto (153-154)	195	35	1.02	0.70	1.48	370	0.95	0.67	1.34
Primitivi del fegato (1550)	34	4	0.58	0.20	1.68	65	0.62	0.25	1.55
Pancreas (157)	32	8	1.50	0.66	3.40	69	1.46	0.75	2.83
Laringe (161)	33	7	1.22	0.52	2.85	64	1.21	0.56	2.60
Trachea, bronchi e polmoni (162)	228	35	0.82	0.57	1.18	444	0.85	0.61	1.17
Vescica (188)	206	36	1.01	0.70	1.45	388	1.01	0.72	1.40
Rene (189)	61	11	0.87	0.45	1.68	111	0.73	0.38	1.40
Encefalo (191)	29	3	0.59	0.18	1.98	51	0.68	0.24	1.94
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	164	21	0.62	0.39	1.00	301	0.80	0.54	1.19
Disturbi ghiandola tiroidea (240-246)	181	41	1.19	0.82	1.72	335	1.01	0.71	1.43
Malattie sistema circolatorio (390-459)	3,315	659	1.06	0.97	1.15	6,324	1.01	0.93	1.10
Malattie cardiache (390-429)	2,117	418	1.08	0.97	1.20	4,001	1.00	0.90	1.11
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	968	166	0.90	0.75	1.08	1,786	0.87	0.74	1.02
Malattie cerebrovascolari (430-438)	745	156	1.13	0.94	1.35	1,398	1.08	0.92	1.27
Malattie apparato respiratorio (460-519)	1,595	345	1.12	0.98	1.27	3,244	**1.13**	**1.01**	**1.27**
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	439	68	0.80	0.62	1.05	786	0.83	0.65	1.05
Broncopneumatia cronico ostruttiva (490-492;494;496)	309	68	1.17	0.86	1.59	628	1.08	0.83	1.42
Asma (493)	74	11	0.71	0.37	1.35	134	0.71	0.39	1.31
Malattie apparato digerente (520-579)	3,117	630	1.02	0.93	1.11	6,079	0.97	0.89	1.05
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	765	152	1.06	0.89	1.27	1,444	1.05	0.89	1.23
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	174	28	0.87	0.58	1.31	344	0.88	0.61	1.26

b) Donne

CAUSA (ICD-9-CM)	<50° percentile	>90° percentile				Test per il trend (per 2.882 µg/m^3)			
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	12,549	2,367	0.99	0.94	1.05	23,957	0.97	0.93	1.02
Tumori maligni (140-208)	1,495	235	0.93	0.81	1.07	2,796	0.92	0.80	1.04
Stomaco (151)	54	8	0.86	0.39	1.92	97	1.00	0.50	2.01
Colon retto (153-154)	138	18	0.84	0.51	1.39	269	0.93	0.60	1.43
Primitivi del fegato (1550)	14	3	1.44	0.40	5.26	28	1.80	0.68	4.80
Pancreas (157)	39	8	1.16	0.53	2.56	74	1.21	0.61	2.40
Laringe (161)	4	3	4.62	0.95	22.5	9	**4.19**	**1.36**	**12.9**
Trachea, bronchi e polmoni (162)	82	15	1.07	0.61	1.89	156	1.05	0.62	1.78
Mammella (174)	359	61	1.02	0.77	1.35	731	1.13	0.89	1.43
Vescica (188)	46	5	0.67	0.26	1.78	89	0.80	0.34	1.85
Rene (189)	29	4	0.78	0.27	2.26	53	0.71	0.26	2.00
Encefalo (191)	26	5	1.11	0.41	3.01	40	0.94	0.32	2.73
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	118	12	0.64	0.35	1.18	205	**0.51**	**0.28**	**0.92**
Disturbi ghiandola tiroidea (240-246)	806	138	0.87	0.71	1.06	1,382	**0.79**	**0.64**	**0.97**
Malattie sistema circolatorio (390-459)	2,795	522	1.07	0.97	1.19	5,220	1.02	0.92	1.12
Malattie cardiache (390-429)	1,624	302	1.11	0.98	1.26	3,006	1.04	0.93	1.18
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	448	63	0.85	0.65	1.11	815	0.83	0.64	1.07
Malattie cerebrovascolari (430-438)	673	104	0.94	0.75	1.19	1,220	0.86	0.69	1.07
Malattie apparato respiratorio (460-519)	1,377	245	0.95	0.81	1.11	2,563	0.91	0.79	1.05
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	360	57	0.90	0.68	1.21	633	0.79	0.59	1.07
Broncopneumatia cronico ostruttiva (490-492;494;496)	255	28	**0.64**	**0.43**	**0.95**	457	0.72	0.51	1.03
Asma (493)	83	12	0.75	0.40	1.39	147	0.89	0.51	1.54
Malattie apparato digerente (520-579)	2,598	538	**1.10**	**1.00**	**1.22**	5,021	1.01	0.92	1.10
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	577	99	0.92	0.74	1.15	1,015	0.81	0.65	1.01
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	159	30	1.02	0.68	1.52	277	0.79	0.52	1.20

Tabella 10. Esposizione all'inceneritore di rifiuti speciali: Hazard Ratio (HR) di ricovero e i relativi Intervalli di confidenza (IC) al 95% per i diversi livelli di concentrazione di PM_{10}

a) Uomini

CAUSA (ICD-9-CM)	<50° percentile	>90° percentile				Test per il trend (per 0.027 ng/m^3)			
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	10,988	2,263	0.99	0.94	1.05	21,917	0.99	0.96	1.02
Tumori maligni (140-208)	1,691	283	**0.85**	**0.75**	**0.98**	3,258	0.95	0.89	1.02
Stomaco (151)	56	12	0.93	0.47	1.85	111	0.86	0.59	1.23
Colon retto (153-154)	202	25	0.69	0.45	1.06	370	0.89	0.72	1.11
Primitivi del fegato (1550)	34	5	0.65	0.25	1.71	65	0.73	0.42	1.27
Pancreas (157)	27	8	1.70	0.75	3.86	69	**1.35**	**1.01**	**1.81**
Laringe (161)	31	9	1.62	0.73	3.57	64	1.13	0.76	1.67
Trachea, bronchi e polmoni (162)	225	51	1.16	0.84	1.59	444	1.01	0.86	1.18
Vescica (188)	208	38	1.03	0.72	1.48	388	1.04	0.87	1.23
Rene (189)	66	10	0.67	0.34	1.33	111	0.87	0.60	1.24
Encefalo (191)	28	4	0.81	0.28	2.36	51	0.97	0.56	1.68
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	159	25	0.75	0.48	1.17	301	0.92	0.74	1.14
Disturbi ghiandola tiroidea (240-246)	188	35	0.96	0.65	1.42	335	0.98	0.80	1.20
Malattie sistema circolatorio (390-459)	3,270	651	1.01	0.92	1.10	6,324	0.99	0.94	1.03
Malattie cardiache (390-429)	2,108	396	0.96	0.86	1.08	4,001	0.97	0.91	1.02
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	978	173	0.88	0.74	1.04	1,786	**0.89**	**0.81**	**0.98**
Malattie cerebrovascolari (430-438)	739	143	1.01	0.84	1.22	1,398	1.01	0.92	1.10
Malattie apparato respiratorio (460-519)	1,565	406	**1.33**	**1.19**	**1.50**	3,244	1.05	0.99	1.12
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	431	89	1.06	0.83	1.35	786	0.94	0.82	1.07
Broncopneumatia cronico ostruttiva (490-492;494;496)	315	92	**1.41**	**1.07**	**1.86**	628	0.98	0.85	1.15
Asma (493)	73	12	0.90	0.48	1.69	134	0.81	0.57	1.16
Malattie apparato digerente (520-579)	3,053	639	1.02	0.94	1.12	6,079	0.98	0.94	1.02
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	743	145	0.99	0.82	1.19	1,444	0.99	0.90	1.08
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	166	31	0.94	0.63	1.40	344	0.93	0.76	1.13

b) Donne

CAUSA (ICD-9-CM)	<50° percentile	>90° percentile				Test per il trend (per 0.027 ng/m^3)			
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	12,259	2,385	**0.94**	**0.89**	**0.99**	23,957	**0.97**	**0.94**	**0.99**
Tumori maligni (140-208)	1,474	258	0.95	0.83	1.09	2,796	0.96	0.89	1.03
Stomaco (151)	53	11	1.06	0.51	2.21	97	1.07	0.76	1.52
Colon retto (153-154)	139	27	1.13	0.74	1.73	269	0.87	0.67	1.14
Primitivi del fegato (1550)	13	2	0.89	0.19	4.14	28	**1.55**	**1.02**	**2.35**
Pancreas (157)	40	6	0.75	0.31	1.83	74	1.11	0.76	1.63
Laringe (161)	3	2	3.07	0.48	19.9	9	**1.83**	**1.09**	**3.06**
Trachea, bronchi e polmoni (162)	83	18	1.08	0.64	1.84	156	0.98	0.72	1.33
Mammella (174)	352	76	1.22	0.94	1.57	731	**1.13**	**1.00**	**1.27**
Vescica (188)	47	3	0.35	0.10	1.17	89	0.75	0.43	1.29
Rene (189)	26	7	1.45	0.61	3.47	53	0.99	0.59	1.63
Encefalo (191)	25	4	0.84	0.28	2.52	40	0.49	0.20	1.24
Tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	124	12	0.57	0.31	1.05	205	**0.66**	**0.45**	**0.95**
Disturbi ghiandola tiroidea (240-246)	779	135	0.82	0.66	1.02	1,382	**0.86**	**0.77**	**0.96**
Malattie sistema circolatorio (390-459)	2,749	534	1.00	0.90	1.11	5,220	1.00	0.95	1.05
Malattie cardiache (390-429)	1,594	307	1.02	0.90	1.16	3,006	0.98	0.92	1.05
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	439	84	1.03	0.81	1.32	815	0.91	0.79	1.06
Malattie cerebrovascolari (430-438)	680	127	1.01	0.81	1.25	1,220	0.94	0.83	1.06
Malattie apparato respiratorio (460-519)	1,312	265	1.00	0.85	1.16	2,563	0.98	0.91	1.06
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	344	62	0.91	0.67	1.23	633	0.94	0.80	1.10
Broncopneumatia cronico ostruttiva (490-492;494;496)	249	46	0.97	0.70	1.35	457	0.82	0.66	1.01
Asma (493)	77	17	1.12	0.65	1.94	147	0.79	0.54	1.14
Malattie apparato digerente (520-579)	2,566	536	1.03	0.93	1.13	5,021	0.98	0.93	1.03
Malattie dell'apparato urinario (580-599)	558	94	0.82	0.65	1.03	1,015	**0.85**	**0.75**	**0.97**
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	153	31	0.97	0.65	1.45	277	0.96	0.77	1.20

Tabella 11. Quadro sinottico dei risultati principali dello studio e stima del *p-value* e del *q-value* delle associazioni

ESPOSIZIONE	UOMINI								DONNE							
	MORTALITA'				RICOVERI				MORTALITA'				RICOVERI			
DISTANZA	CAUSA	HR	pvalue	qvalue	CAUSA	HR	pvalue	qvalue	CAUSA	HR	pvalue	qvalue	CAUSA	HR	pvalue	qvalue
vicino					Cause naturali	**1.08**	0.07	0.82	Laringe	**11.16**	**0.01**	0.18	Cause naturali	**1.09**	**0.00**	**0.02**
					Malattie cerebrovascolari	**1.32**	0.06	0.82	Mammella	**1.14**	0.06	0.32	Laringe	**6.53**	**0.02**	0.11
									Malattie ischemiche del cuore	**1.60**	**0.02**	0.20	Malattie sistema circolatorio	**1.26**	**0.00**	**0.04**
													Malattie apparato digerente	**1.13**	**0.03**	0.14
Trend lineare (per 1 Km)	Malattie apparato respiratorio	**1.08**	0.08	0.73	Cause naturali	**1.02**	**0.00**	**0.01**	Laringe	**1.56**	**0.02**	0.30	Cause naturali	1.01	**0.00**	**0.02**
					Disturbi ghiandola tiroidea	**1.07**	0.07	0.28					Laringe	**1.39**	**0.04**	0.28
					Malattie sistema circolatorio	**1.02**	**0.01**	0.08					Malattie sistema circolatorio	**1.03**	**0.00**	**0.02**
					Malattie dell'apparato urinario	**1.05**	0.30	0.72					Malattie apparato digerente	**1.02**	0.10	0.51
CONCENTRAZIONE DI H_2S																
>90° percentile									Laringe	**17.48**	**0.02**	0.37				
Trend lineare (per 0.043 $\mu g/m^3$)									Laringe	**1.36**	**0.04**	0.48	Laringe	**1.36**	**0.01**	0.12
									Vescica	**1.35**	**0.05**	0.48	Malattie sistema circolatorio	**1.04**	**0.04**	0.31
CONCENTRAZIONE DI SOx																
>90° percentile									Laringe	**17.53**	**0.02**	0.36	Malattie apparato digerente	**1.10**	**0.05**	0.49
Trend lineare (per 2.882 $\mu g/m^3$)					Malattie apparato respiratorio	**1.13**	**0.03**	0.71	Pancreas	**1.75**	**0.01**	0.09	Laringe	**4.19**	**0.01**	0.22
									Laringe	**4.99**	**0.01**	0.11				
CONCENTRAZIONE DI PM_{10}																
>90° percentile	Cause naturali	**1.19**	**0.01**	0.06	Malattie apparato respiratorio	**1.33**	**0.00**	**0.00**								
	Malattie apparato respiratorio	**1.82**	**0.01**	0.06												
Trend lineare (per 0.027 ng/m^3)	Pancreas	**1.40**	**0.03**	0.53	Pancreas	**1.35**	**0.04**	0.53	Pancreas	**1.47**	**0.01**	0.09	Primitivi del fegato	**1.55**	**0.04**	0.17
									Laringe	**1.92**	**0.01**	0.11	Laringe	**1.83**	**0.02**	0.14
													Mammella	**1.13**	**0.05**	0.18

VALUTAZIONE EPIDEMIOLOGICA DELLO STATO DI SALUTE DELLA POPOLAZIONE RESIDENTE NEI PRESSI DEI TERMOVALORIZZATORI DEL LAZIO

RIASSUNTO

INTRODUZIONE. 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), ma il grado di evidenza è molto limitato.

OBIETTIVI. Lo studio ha valutato l'associazione tra i livelli di inquinamento atmosferico e il ricorso alle cure ospedaliere dei residenti per patologie cardiovascolari e respiratorie nei periodi pre- e post-operatività dei termovalorizzatori di Colleferro e San Vittore del Lazio.

METODI. 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 dagli impianti, entrambi entrati in funzione alla fine del 2002. Il modello di dispersione lagrangiano SPRAY per il PM_{10} è stato usato per definire i livelli di esposizione all'inceneritore, sono state definite tre zone a basso, medio ed alto PM_{10}. Sono state studiate le ospedalizzazione dei soggetti della coorte nel periodo precedente (1996-2002) e successivo (2003-2008) l'attivazione dei termovalorizzatori L'associazione tra residenza nelle tre zone e ricoveri nei due periodi è stato stimato utilizzando il modello multivariato di Cox (per eventi ripetuti) aggiustando per sesso, età, area a livello di SES, la distanza dalle industrie e dalle strade trafficate e livelli di fondo di PM10. Per testare l'effetto degli inceneritori è stato utilizzato un termine di interazione tra il periodo di follow-up (prima-dopo) e i livelli di esposizione.

RISULTATI.
Sono stati arruolati 47.192 residenti tra il 1996 e il 2008, la maggior parte dei membri della coorte è risultata ancora residente nel periodo post attivazione impianti. L'analisi della morbosità associata all'inquinamento prodotto dai termovalorizzatori dopo la loro entrata in funzione ha evidenziato, per i residenti di sesso maschile nelle zone ad alta esposizione, un eccesso di ospedalizzazioni per malattie dell'apparato respiratorio (HR=1.26-I.C.=0.99;1.60) e malattie polmonari cronico ostruttive (HR=1.86-I.C.=1.04;3.33).

CONCLUSIONI. I risultati indicano un chiaro effetto dell'esposizione all'inquinamento degli incenritori con un incremento delle ospedalizzazioni per disturbi respiratori nel sesso machile. E' quindi opportuna una continua sorveglianza epidemiologica della popolazione residente in una delle aree a più elevata criticità ambientale del Lazio.

INTRODUZIONE

I termovalorizzatori sono impianti di incenerimento ad alta temperatura finalizzati alla produzione di energia elettrica il cui combustibile è costituito dal CDR, combustibile derivato da rifiuti urbani. Gli effetti sulla salute associati alla residenza in prossimità di inceneritori e termovalorizzatori sono stati documentati in diverse pubblicazioni e revisioni sistematiche di studi epidemiologici. I risultati, che derivano prevalentemente da studi ecologici, suggeriscono una relazione con alcuni esiti riproduttivi (mortalità infantile e malformazioni congenite[1,2]; nati morti[3]; peso alla nascita ed età gestazionale[4]) e tumori (tutti i tumori, laringe, polmoni, esofago, stomaco, intestino, fegato, reni, vescica e seno)[5,6]. Tuttavia, questi risultati non sono immuni da distorsioni principalmente connesse alla scelta del disegno, alla carenza di informazioni sull'esposizione, all'impiego di misure surrogate come la distanza dalla fonte, nonché al mancato controllo di potenziali confondenti, quali le caratteristiche individuali delle persone esposte.

Alcune indagini più dettagliate condotte in Italia e in Francia suggeriscono un aumento del rischio per linfoma non-Hodgkin[7-9], sarcoma del tessuto connettivo[10,11] e malformazione delle vie urinarie alla nascita[12]. Alcuni di questi studi hanno usato modelli di dispersione per stimare l'esposizione agli inquinanti prodotti dagli inceneritori[8,9], migliorando in tal modo il limite principale degli studi condotti precedentemente, che utilizzavano la distanza quale misura di esposizione.

Diverse rassegne della letteratura[13-15] si sono occupate di individuare le lacune e le priorità delle ricerche svolte nell'ambito. In generale, si sono riscontrate notevoli limitazioni metodologiche, principalmente dovute alla natura e alla complessità delle esposizioni, alle dimensioni delle popolazioni indagate e alla difficile definizione del profilo socio-economico o di altri fattori di confondimento che possono avere una rilevante influenza sugli esiti in studio. Tali debolezze sottolineano la necessità di una nuova generazione di studi epidemiologici che migliori la definizione dell'esposizione, sia in termini quantitativi che qualitativi, attraverso misurazioni ambientali e lo sviluppo di biomarcatori individuali di esposizione.

Recentemente è stato pubblicato uno studio su due inceneritori in Emilia Romagna[16] che introduce alcune innovazioni procedurali: innanzitutto il ricorso ad un modello che ha simulato la dispersione dei fattori inquinanti d'interesse nel territorio in studio e ha

quindi consentito di stabilire in modo più accurato l'esposizione dei soggetti. Inoltre, il disegno dello studio, di tipo longitudinale, ha consentito di tenere conto del livello socio-economico, calcolato a livello di piccola area di residenza, della popolazione oggetto di indagine.

L'area di Colleferro è una delle zone della regione Lazio ad elevata complessità ambientale. Già dal 1912 iniziò le attività, nella zona di Colleferro Scalo, l'azienda di polveri da sparo ed esplosivi Bombrini-Parodi-Delfino (BPD). Dopo la prima guerra mondiale la BPD estese la gamma di produzione ai concimi e al cemento e nel secondo dopoguerra arrivò a comprendere ulteriori divisioni attive nei settori della meccanica, del tessile e della chimica. Nel 1968 la BPD si fuse con la Società di Navigazione Italo Americana (SNIA), la cui divisione chimica portò per alcuni anni il nome di SNIA BPD. Alla SNIA BPD si aggiunsero negli anni numerosi stabilimenti chimici e tessili estendo così l'area industriale di Colleferro fino a mille ettari di terreno. Tra questi assume rilievo il cementificio sito a sud dell'attuale termovalorizzatore, in vicinanza del centro abitativo di Colleferro. Avviato nel 1919 con il nome di Calce e Cementi Segni, nel periodo compreso tra le due guerre mondiali il cementificio subì un rapido sviluppo e venne ampliato fino ad avere tre forni sulla linea di produzione. A partire dagli anni cinquanta iniziarono le opere di potenziamento dell'impianto con lo smantellamento dei tre vecchi forni e con l'installazione di nuovi forni adatti a rispondere alla richiesta crescente del mercato edilizio. Italcementi acquistò lo stabilimento di Colleferro nel 1972 e subentrò nella gestione diretta del cementificio incrementandone la produzione.

La presenza decennale di questi ed altri stabilimenti di produzione ha esposto il territorio di Colleferro e della Valle del Sacco a sostanze inquinanti altamente dannose per l'ambiente, causando una contaminazione delle falde acquifere e dei terreni. Nel 1990 furono individuate e sottoposte a sequestro, all'interno dello stabilimento BPD, tre aree adibite a discariche incontrollate di rifiuti industriali per circa 5 ettari di terreno. Nel 2005, nel corso di un'indagine campionaria sul latte di massa prevista dal Piano Nazionale Residui, fu rilevata una massiccia presenza di Beta-esaclorocicloesano (β-HCH), circa 30 volte superiore ai livelli ammessi dalla legge. Successive indagini hanno appurato che il Beta-HCH proveniente dalle discariche dei rifiuti tossici ha contaminato il fiume Sacco e i terreni attigui. Il β-HCH è una sostanza organica derivante dalla sintesi chimica dell'insetticida Lindano (γ-HCH), il cui uso in campo

agricolo è stato particolarmente diffuso nel territorio per il trattamento del terreno prima della semina e per la disinfestazione dei cereali e delle sementi nei magazzini. Nel 1975 ne è stato limitato l'impiego, e nel 2001 è stato definitivamente vietato.

Una indagine epidemiologica[17] sullo stato di salute della popolazione residente nell'area della Valle del Sacco ha evidenziato un eccesso di decessi per tutti i tumori e per alcuni tumori specifici (stomaco, laringe, polmoni, pleura e mieloma) tra gli uomini, mentre tra le donne si è riscontrato un aumento dei decessi per diabete. L'indagine ha previsto uno studio di biomonitoraggio sul sangue di un campione di soggetti residenti in quattro aree della Valle del Sacco, caratterizzate da diversi livelli di esposizione di inquinanti organici persistenti e metalli pesanti. Sono stati riscontrati livelli elevati di β-HCH, con una maggiore contaminazione della popolazione residente lungo il fiume avvenuta mediante il consumo alimentare di prodotti locali.

Nel contesto sopra illustrato, nel 2002 sono stati attivati i due impianti di termovalorizzazione di CDR del Lazio localizzati a Colleferro (RM) e a San Vittore del Lazio (FR). Il presente lavoro ha l'obiettivo di valutare lo stato di salute della coorte dei residenti dopo la loro messa in funzione: lo studio utilizza un disegno pre/post in cui l'esposizione agli inquinanti emessi dagli impianti viene stimata attraverso l'uso di modelli di dispersione.

METODI

Caratteristiche dei termovalorizzatori

Il termovalorizzatore di Colleferro occupa una superficie di circa 30,000 mq ed è costituito da due linee di trattamento: la prima linea è stata attivata nel mese di dicembre 2002, la seconda è operativa da giugno 2003. Ciascuna delle due linee è autorizzata allo smaltimento di 110,000 t/anno di CDR, corrispondenti ad una quantità massima giornaliera di circa 334 t/giorno. Nel 2009 l'impianto di Colleferro è stato sequestrato per diversi mesi dal Nucleo Operativo Ecologico dei Carabinieri di Roma per numerosi reati, tra cui attività organizzata per traffico illecito di rifiuti, violazione dei valori limiti delle emissioni in atmosfera, combustione di pneumatici, trattamento di rifiuti indifferenziati.

Il termovalorizzatore di San Vittore del Lazio si estende su una superficie di 50,422 mq. Attualmente l'impianto è dotato di una sola linea di esercizio e, con la realizzazione prevista di due nuove linee, la superficie dell'impianto occuperà un'area di 78,249 mq. Attivato nell'agosto del 2002, il termovalorizzatore è autorizzato alla combustione di 304,150 t annue.

Ai fini dello studio, i due termovalorizzatori sono stati georeferenziati utilizzando le coordinate geografiche del punto centrale fornite dalla Regione Lazio, secondo il sistema di riferimento WGS84_UTM33N. A causa della complessità dell'area, per l'impianto di Colleferro si è considerata d'interesse l'area contenuta nella circonferenza di raggio 7 Km dal perimetro del sito che comprende i comuni di Artena, Colleferro, Gavignano e Segni. Per l'impianto di San Vittore del Lazio si è fatto riferimento ad un'area contenuta nella circonferenza di 5 Km dal punto centrale del sito che comprende solo il comune di San Vittore del Lazio.

Disegno dello studio e selezione della popolazione

Lo studio è stato condotto con un approccio di coorte di popolazione. La popolazione d'interesse è costituita dai soggetti residenti al 1 Gennaio 1996 o successivamente entrati fino al 31 Dicembre 2008, mentre per San Vittore del Lazio è stato possibile ricostruire la coorte di popolazione solo a partire dal 1 Gennaio 2000. Le informazioni anagrafiche e residenziali della coorte sono state reperite dagli archivi dei registri anagrafici forniti dai comuni interessati. I dati raccolti sono stati sottoposti ad un'accurata procedura di controllo di qualità.

Per ogni individuo della coorte è stato stabilito l'indirizzo di residenza al 1 Gennaio 1996 o 2000, ovvero il primo indirizzo di residenza per i nuovi iscritti all'anagrafe (per nascita o immigrazione). Tutti gli indirizzi sono stati georeferenziati, utilizzando un sistema GIS (Geographic Information System). Le operazioni di georeferenziazione hanno previsto la normalizzazione dell'indirizzo registrato dall'archivio comunale e l'interrogazione delle mappe dei sistemi TELEATLAS e NAVDAC. Ad ogni soggetto è stato attribuito un indicatore di posizione socio-economica (SES) sulla base della sezione di censimento corrispondente all'indirizzo di residenza. Tale indice è costruito a partire da un insieme di variabili raccolte nel censimento del 2001, ognuna delle quali descrive una dimensione dello svantaggio sociale ed economico (istruzione,

occupazione, condizione abitativa etc.) ed è stato codificato in cinque classi sulla base dei quintili della distribuzione: alto, medio-alto, medio, medio-basso, basso[18].

La mappatura degli indirizzi con il sistema GIS ha permesso anche di calcolare, per ogni soggetto, la distanza tra l'indirizzo di residenza e le autostrade, le strade principali caratterizzate da traffico intenso e le industrie presenti nel territorio. Relativamente al termovalorizzatore di Colleferro è stata anche considerata la residenza nell'area di Colleferro Scalo (area limitrofa agli insediamenti industriali SNIA BPD ed Italcementi) e la residenza entro 1 Km dal Fiume Sacco.

Follow-up della coorte

Tutti i soggetti arruolati nella coorte sono stati seguiti per quanto riguarda lo stato in vita fino al 31 Dicembre 2008. Coloro che nel periodo d'interesse sono emigrati dal comune di residenza, sono stati considerati in vita fino alla data di emigrazione e quindi, per loro il *follow-up* si è concluso a tale data.

Valutazione dell'esposizione: modelli di dispersione

L'esposizione al PM_{10} di fondo, derivante dall'inquinamento stradale, industriale, e civile è stato stimato su base regionale (http://www.arpalazio.net/main/aria/sci/#) ed ha permesso di assegnare la concentrazione media annua di questo inquinante all'indirizzo di residenza di ogni soggetto in studio. Il modello, sviluppato da ARPA, ha utilizzato il censimento delle emissioni del 2005, si basa sulla integrazione delle catene modellistiche RAMS e FARM e ha una risoluzione di 4x4 Km.

Il modello lagrangiano a particelle SPRAY ver. 5 (Arianet s.r.l., Milano, Italia) è stato utilizzato per simulare l'impatto dei termovalorizzatori sull'area in studio. Il modello simula il trasporto, la dispersione e la ricaduta degli inquinanti emessi su terreni complessi e con la presenza di ostacoli, seguendo il percorso di particelle fittizie nel flusso turbolento dell'atmosfera. Per stimare la dispersione delle concentrazioni del PM_{10}, scelto come inquinante tracciante, sono stati utilizzati i seguenti dati: l'orografia del territorio, i dati meteorologici mensili (in particolare le componenti del vento e della temperatura), le caratteristiche della turbolenza in bassa atmosfera e la distribuzione oraria spaziale (orizzontale e verticale) delle emissioni inquinanti. Il modello restituisce la mappa delle concentrazioni al suolo relative all'inquinante emesso dall'impianto, utilizzando una risoluzione di 500x500m. Allo stesso modo è

stata simulata la dispersione del PM_{10} prodotto dal cementificio. Per ulteriori dettagli sul modello di dispersione si rimanda alla relazione tecnica di ARPA Lazio.

Nella tabella che segue si riportano le statistiche descrittive (media, deviazione standard, 25°, 50°, 75°, 80°, 90° percentile e range interquartile, ossia la differenza tra il 75° e il 25° percentile) dei livelli di PM_{10} prodotto dalle diverse fonti calcolate sui soggetti della coorte:

Tabella A. Livello di esposizione a PM_{10} di *background*, a PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori e a PM_{10} prodotto dal cementificio di Colleferro per gli individui appartenenti alla coorte dei residenti 1996-2008

	media	DS	p25	p50	p75	p80	p90	p75-p25
PM_{10} di background µg/m^3	9.58	1.46	8.00	9.69	10.86	10.86	10.94	2.86
PM_{10} termovalorizzatore ng/m^3	2.96	1.11	1.99	3.40	3.80	3.93	4.00	1.81
PM_{10} cementificio ng/m^3	59.47	23.78	40.35	61.38	78.92	81.60	84.02	38.57

È importante osservare come il contributo espositivo del PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori (2.96 ng/m^3) sia molto inferiore a quello del PM_{10} prodotto dal cementificio (59.47 ng/m^3) e a quello del PM_{10} di *background* (9.58µg/m^3). In ogni caso, per i soggetti della coorte, vi è una alta correlazione tra gli indicatori stessi ($r_{term/cem}$=0.78; $r_{term/back}$=0.73; $r_{back/cem}$=0.65).

Sulla base della distribuzione del PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori, i soggetti della coorte sono stati classificati in tre gruppi a seconda della residenza in zone caratterizzate da determinate concentrazioni dell'inquinante:

i. *Zona a bassa esposizione (riferimento)*: area in cui valori di PM_{10} sono inferiori a 3.40 ng/m^3 (50° percentile);

ii. *Zona a media esposizione*: area in cui i valori di PM_{10} sono superiori o uguali a 3.40 oppure inferiori o uguali a 3.93 ng/m^3 (80° percentile);

iii. *Zona ad alta esposizione*: area in cui i valori di PM_{10} sono superiori a 3.93 ng/m^3.

Esiti di salute

Gli impianti in studio hanno iniziato la loro attività nel 2002, periodo relativamente breve per valutare eventuali esiti associati ad esposizioni di lungo periodo. In questa indagine, quindi, non sono in studio la mortalità, l'occorrenza di patologie tumorali o di patologie croniche. Gli esiti considerati sono invece le ospedalizzazioni di adulti e bambini (età compresa tra 0 e 14 anni) sia per cause naturali - escludendo parto e traumatismi - (ICD IX-CM 001-629; 677-799) sia per malattie cardiovascolari (ICD IX-CM 390-459) e per patologie dell'apparato respiratorio (ICD IX-CM 460-519), assumendo che per queste patologie il tempo di latenza sia sufficiente.

Le informazioni derivano dal Sistema Informativo Ospedaliero (SIO) del Lazio che rileva e gestisce i dati analitici di tutti i ricoveri ospedalieri (in acuzie e post-acuzie) che ogni anno si verificano negli Istituti di Ricovero e Cura (pubblici e privati) del Lazio. A tutte le persone della coorte sono stati attribuiti, utilizzando il codice fiscale come chiave di *linkage*, la diagnosi principale, la data di ricovero e di dimissione degli eventuali ricoveri per le cause studiate avuti nel periodo di *follow-up*. Non sono inclusi nelle analisi eventuali ricoveri della stessa persona avvenuti entro 30 giorni dalla data di dimissione di ciascun episodio di ricovero in studio.

Analisi statistica

Sono stati prima di tutto calcolati gli anni-persona nei periodi pre- (1996-2002) e post-attività (2003-2008) degli impianti, ossia il tempo di osservazione dei soggetti in studio nei due periodi. Successivamente, sono stati calcolati i tassi grezzi di ospedalizzazione (considerando anche i ricoveri ripetuti) per singola causa di ricovero nei periodi pre- e post-attività dei termovalorizzatori, separatamente per i tre livelli di esposizione considerati. I tassi grezzi sono dati dal rapporto tra il numero dei ricoveri osservati nel periodo d'interesse e il tempo persona di osservazione (anni–persona). Il computo dei tassi grezzi è stato effettuato attribuendo l'esposizione al PM_{10} prodotto dagli impianti a tutti i soggetti, anche se il ricovero d'interesse è avvenuto prima del 1 Gennaio 2003. Ciò ha consentito di stabilire l'esistenza di una modifica nella frequenza di ricoveri nelle tre zone di esposizione nel passaggio dal pre- al post-.

L'analisi dei dati è stata eseguita utilizzando il modello di Cox per eventi ripetuti inserendo l'esposizione al PM_{10} dei termovalorizzatori come covariata tempo-

dipendente. La valutazione dell'effetto specifico dell'entrata in funzione dei termovalorizzatori è stata realizzata inserendo nel modello statistico l'interazione tra l'esposizione all'inquinante e il periodo di *follow-up* durante il quale si è verificato il ricovero come variabile dicotomica, che quindi assume valore "0" dal 1 Gennaio 1996 al 31 Dicembre 2002 e valore "1" dal 1 Gennaio 2003 al 31 Dicembre 2008. Tale approccio ha consentito di stimare il rischio di ospedalizzazione nel passaggio dal periodo pre- e quello post-attività dei termovalorizzatori nelle zone a media e ad alta esposizione, rispetto al ricorso alle cure ospedaliere nella zona di controllo.

L'analisi dei dati è stata effettuata seguendo l'approccio suggerito da Prentice et al.[19], secondo cui l'insieme dei soggetti a rischio di sperimentare il *k*-esimo ricovero per un data causa in un generico istante *t* è costituito da tutti i soggetti sotto osservazione al tempo *t* che hanno precedentemente avuto il (*k*-1)-esimo ricovero per la stessa causa. I soggetti che non hanno subito alcun ricovero sono considerati a rischio del primo ricovero durante tutto il periodo di osservazione. Occorre precisare che, nel caso in cui tra due ricoveri per una data causa d'interesse, si sia verificato un ricovero per un'altra causa, durante il periodo di ospedalizzazione il soggetto è stato escluso dal *follow-up* per quel periodo. Parimenti, durante l'ospedalizzazione il soggetto non è considerato a rischio di ricovero per la causa su cui si sta indagando. Inoltre sono stati esclusi dal tempo a rischio anche i 30 giorni successivi al ricovero per la causa d'interesse o per altra causa

I modelli sono stati sviluppati sull'asse temporale dell'età e stratificati per sede del termovalorizzatore e classe di rischio. La classe di rischio rappresenta l'ordine di ricovero per cui il soggetto è a rischio in un dato momento del periodo di *follow-up*. Più precisamente, in un generico istante *t*, la classe di rischio assume valore "1" per tutti i soggetti che non sono mai stati ricoverati fino a quel momento (il soggetto è a rischio di subire il primo ricovero), valore "2" per tutti i soggetti che precedentemente all'istante *t* hanno subito il primo ricovero per la causa d'interesse o per altra causa (il soggetto è a rischio di subire il secondo ricovero), e così via valore "*k*" per tutti i soggetti che precedentemente all'istante *t* hanno verificato il (*k*-1)-esimo ricovero per la causa d'interesse o per un'altra causa. In questo modo, ad ogni istante del periodo di *follow-up*, ai soggetti è attribuito un rischio di ricovero diverso sulla base dei ricoveri precedenti, in quanto è lecito supporre che coloro che hanno subito uno o più ricoveri per una qualsiasi causa abbiano una probabilità maggiore di essere

nuovamente ricoverati per la stessa causa o per una causa diversa. Ciò ha consentito di ottenere un effetto "esposizione al PM_{10} di *background*/del termovalorizzatore" depurato rispettivamente dalla diversa composizione per età, dall'effetto residuale del contesto in cui sorge l'impianto e dagli eventuali ricoveri precedenti a quello per la causa d'interesse.

Si riporta di seguito la lista dei fattori confondenti introdotti nel modello al fine di tener conto, nella stima delle quantità d'interesse, delle caratteristiche peculiari dei territori in studio:

- livello socio-economico;
- residenza entro 500 m dalle autostrade;
- residenza entro 150 m dalle strade principali;
- residenza entro 1 Km dal fiume Sacco;
- residenza nell'area di Colleferro Scalo;
- residenza entro 2 Km da eventuali altre industrie presenti nell'area.

Nel determinare i rischi di ospedalizzazione connessi all' attivazione dei termovalorizzatori, nel modello è stato inserito il PM_{10} di *background* come termine lineare, per verificare se, a parità di un inquinamento di fondo presente sul territorio, l'inquinamento prodotto dai termovalorizzatori ha rappresentato un ulteriore fattore di rischio per la popolazione in studio. Questa procedura ha anche consentito di valutare il rischio di ospedalizzazione associato all'inquinamento di *background*, a parità di esposizione ai termovalorizzatori ed alle altre caratteristiche del territorio sopra elencate.

L'associazione tra l'esposizione al PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori e la morbosità è stata valutata in termini di *Hazard Ratio* (HR), specifici per causa e genere, separatamente per la zona a media esposizione e quella ad alta esposizione. Essi consentono di stabilire se il rischio di ricovero per una data causa tra i soggetti residenti nelle zone a media e alta esposizione ha subito un incremento o una diminuzione nel periodo post-termovalorizzatore rispetto al periodo precedente di

inattività dell'impianto, prendendo a riferimento l'ospedalizzazione avvenuta per la medesima causa tra i soggetti residenti nella zona a bassa esposizione. Inoltre, sono stati calcolati anche gli intervalli di confidenza (IC 95%) degli HR, che forniscono gli estremi inferiore e superiore entro cui il valore vero dell'HR ricade con una probabilità prefissata di 0.95.

Gli HR e i rispettivi intervalli di confidenza sono stati calcolati anche sul totale dei residenti (uomini e donne), per i quali è stato effettuato il test sull'esistenza di un trend di ospedalizzazione tra le tre classi di esposizione. Tale ipotesi è stata valutata in termini di *p-value*: esso stabilisce se l'eventuale incremento/decremento di morbosità riscontrato nel periodo di attività degli impianti aumenti/diminuisca all'aumentare delle concentrazioni di PM_{10} a cui sono esposti i soggetti.

L'associazione tra l'esposizione al PM_{10} di *background* e la morbosità dei soggetti residenti nelle aree d'interesse è stata espressa in termini di *Hazard Ratio* (HR), specifici per causa e genere, e sul totale dei soggetti. Essi descrivono l'aumento o la diminuzione del rischio di ricovero per una data causa all'aumentare della concentrazione di PM_{10} di *background* a cui i soggetti sono esposti (per incremento di 1 $\mu g/m^3$). Sono stati calcolati anche gli intervalli di confidenza degli HR (IC 95%), che forniscono gli estremi inferiore e superiore entro cui il valore vero dell'HR ricade con una probabilità prefissata di 0.95.

A causa dell'alta correlazione del PM_{10} prodotto dal cementificio sia con il PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori (r=0.78) sia con il PM_{10} di *background*(r=0.65), è stato deciso di non considerare separatamente questo effetto, sia per non incorrere nel rischio di una errata stima dell'effetto dell'esposizione principale (termovalorizzatore), sia perché l'inquinamento di *background* comprende già parte del PM_{10} prodotto dal cementificio.

RISULTATI

Nelle figure da 1 a 6 sono riportati i confini amministrativi dei comuni delle aree in studio, i termovalorizzatori, gli anelli concentrici della distanza dagli impianti (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7 Km), i residenti, le autostrade e le strade principali. Nelle

mappe relative all'impianto di Colleferro si riportano anche il fiume Sacco, il cementificio e i confini amministrativi di Colleferro Scalo.

Le figure 1 e 2 riportano la concentrazione media annua del PM_{10} di background nei territori d'interesse in cinque classi di uguale ampiezza.

Nelle figure 3 e 4 si riportano i risultati dei modelli di dispersione del PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori in cinque classi di uguale ampiezza. Le figure 5 e 6 mostrano la distribuzione dei residenti nelle tre zone di esposizione b*assa-media-alta*.

La Tabella 1 mostra le caratteristiche della coorte dei soggetti residenti nelle aree in studio tra il 1996 e il 2008, e quelle della coorte dei residenti nel periodo post-inizio attività dei termovalorizzatori (2003-2008), nelle tre zone di esposizione (b*assa-media-alta*) al PM_{10} emesso dagli impianti.

La coorte dei residenti dal 1996 al 2008 è costituita da 47,192 persone delle quali il 94% risiede entro i 7 Km dal termovalorizzatore di Colleferro e il 6% entro i 5 Km da quello di San Vittore del Lazio. Il 22% della popolazione è costituita da bambini (0-14 anni), il 13.1% da persone di 65 anni o più. Più della metà dei soggetti (52.7%) risiede in zone a media o alta concentrazione di PM_{10} di *background*. Il 54.2% della popolazione è esposto a concentrazioni di PM_{10} da cementificio medie o alte. Al 31 dicembre 2008, il 9.3% della popolazione risulta deceduto.

La coorte residente nel periodo post-termovalorizzatore è composta da 41,379 soggetti, di cui 20,857 (50,4%) risiedono nella zona a bassa esposizione, 12,132 (29.3%) in quella a media esposizione e 8,390 (20,3%) in quella ad alta esposizione. Tutti i 2,654 soggetti residenti del comune di San Vittore risiedono nella zona a bassa esposizione e fanno quindi parte del gruppo di riferimento di questo studio. Nelle zone ad alta esposizione risiedono maggiormente le persone con un livello socio-economico medio-alto o alto (35.9% e 28.6%). Più della metà dei soggetti residenti nella zona a media esposizione è esposta a concentrazioni di PM_{10} di *background* media e alta (57.3% e 26.4%); il gruppo dei soggetti più esposti invece, risulta equidistribuito tra la zona a media ed alta esposizione al PM_{10} di *background* (49.8% e 47.5%). La mortalità grezza osservata al 31 dicembre 2008 è pari al 5.2% della popolazione.

Sono stati stimati 240,584 anni-persona di osservazione nel periodo precedente l'attività dell'inceneritore e 208,935 nel periodo successivo.

Dei 47,192 residenti tra il 1996 e il 2008, più della metà non è mai ricorsa alle cure ospedaliere (54.1%), mentre il restante 45.9% è stato ricoverato almeno una volta. Tra questi, il 22.6% ha subito un solo ricovero, il 20.7% da due a cinque ricoveri, il 2.3% da sei a dieci ricoveri, mentre il residuo 0.3% è ricorso alle cure ospedaliere più di 10 volte nel periodo in studio. In riferimento ai 41,379 residenti nel periodo post-attività dei termovalorizzatori, il 67.6% non è mai ricorso alle cure ospedaliere, il 19.8% ha subito un solo ricovero, l'11.8% da due a cinque ricoveri, il residuo 0.8% a sei o più ricoveri.

Nella Tabella 2 si riportano, separatamente per gli uomini (a) e per le donne (b), e per il totale dei residenti (c) i tassi grezzi (*1000 persone) di ospedalizzazione per causa nei periodi pre- e post- inizio dell'attività dei termovalorizzatori nelle tre aree di esposizione al PM_{10} emesso dagli impianti, con i relativi intervalli di confidenza.

Uomini

Per i tre livelli di esposizione considerati, nel periodo successivo all'attivazione dei termovalorizzatori il tasso grezzo di ospedalizzazione per cause naturali è maggiore di quello che si osserva nel periodo pre-attività. Questo aumento è particolarmente evidente per le patologie a carico dell'apparato circolatorio e respiratorio. A tal proposito si noti che la differenza tra i tassi grezzi pre- e post-attività subisce un leggero incremento all'aumentare del livello di esposizione al PM_{10}. Per tutte le altre malattie, non si riscontrano particolari differenze dei tassi di ospedalizzazione nei due periodi.

Tra i bambini (0-14 anni) si osserva un aumento dei ricoveri per cause naturali e malattie dell'apparato respiratorio a seguito della attivivazione degli impianti ma solo nella zona ad alta concentrazione di PM_{10}.

Donne

Le donne, a parità di livello di esposizione, mostrano un aumento dei ricoveri per cause naturali nel periodo di attività dei termovalorizzatori, rispetto al periodo

precedente. Tale incremento si osserva principalmente per malattie dell'apparato respiratorio e di quello circolatorio, in tutte le tre categorie di esposizione.

Tra le bambine (0-14 anni) si registra, nel periodo post-attività degli impianti, un aumento delle ospedalizzazioni per cause naturali ma solo nelle aree ad alta esposizione.

Totale

I tassi grezzi di ospedalizzazione calcolati sul totale dei residenti descrivono lo stesso andamento visto in precedenza, separatamente per uomini e donne: un leggero incremento dei ricoveri per tutte le cause naturali, per malattie cardiovascolari e dell'apparato respiratorio, nel passaggio dal periodo pre- a quello post-attività degli impianti che aumenta all'aumentare delle concentrazioni di PM_{10}.

Tra i bambini (0-14 anni) non si riscontrano, a parità di esposizione, aumenti delle ospedalizzazioni. Un leggero incremento dei ricoveri per cause naturali si osserva nella zona ad alta esposizione

La Tabella 3 mostra i risultati dell'analisi delle ospedalizzazioni per livelli di esposizione al PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori, separatamente per genere e sul totale (uomini + donne). Si riportano il numero dei ricoveri per causa osservati e gli HR aggiustati per età, impianto, classe di rischio, livello socio-economico, residenza in prossimità di autostrade, strade, fiume Sacco, industrie ed entro i confini di Colleferro Scalo, ed i relativi intervalli di confidenza al 95%.

Uomini

Tra i residenti nelle aree maggiormente esposte al PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori non si osservano differenze nel ricorso alle cure ospedaliere per tutte le cause rispetto al gruppo di controllo (residenti in zone a basse concentrazioni di PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori). Tuttavia, l'analisi causa-specifica mostra un aumento del rischio di ospedalizzazione tra i residenti in zone ad elevate concentrazioni di PM_1 pari al 26% per malattie dell'apparato respiratorio, soprattutto a carico delle malattie polmonari cronico ostruttive (+86%).

Tra i bambini (0-14 anni) si osserva una ospedalizzazione per cause naturali e cause specifiche sovrapponibile a quella del gruppo di riferimento. Nelle zone a media esposizione si registra un aumento del 60%, al limite della significatività statistica, dei ricoveri per infezioni acute delle vie respiratorie.

Donne

Le donne residenti nelle aree a media e alta esposizione presentano una ospedalizzazione per cause naturali simile a quella del gruppo di riferimento. Esaminando i ricoveri per causa specifica, non emergono incrementi o diminuzioni significative dei rischi di ospedalizzazione nelle aree a maggiore esposizione.

Totale

Effettuando l'analisi sul totale dei residenti, non si riscontrano particolari aumenti o decrementi delle ospedalizzazioni, né per cause naturali né per causa specifica, associati ai livelli di concentrazione del PM_{10}. Si registra, tuttavia, un trend lineare delle ospedalizzazioni per tutte le patologie dell'apparato respiratorio (*p-value*=0.088) e per le malattie polmonari cronico ostruttive (*p-value*=0.038).

La Tabella 4 mostra l'effetto lineare (per incremento di 1 $\mu g/m^3$) del PM_{10} di *background.* Si riportano, separatamente per gli uomini e le donne, e sul totale (uomini + donne) il numero di ricoveri per causa osservati e gli HR aggiustati età, sede dell'impianto, classe di rischio, livello socio-economico, residenza in prossimità di autostrade, strade, fiume Sacco, industrie ed entro i confini di Colleferro Scalo e per esposizione al PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori, con i relativi intervalli di confidenza al 95%.

Uomini

Gli uomini mostrano un eccesso del 4% delle ospedalizzazioni per cause naturali per incremento di 1 $\mu g/m^3$ del PM_{10} di *background*. Analizzando i ricoveri causa-specifici emergono diversi eccessi: +7% dei ricoveri per il grande gruppo delle patologie cardiovascolar (in particolare, per le malattie cardiache si registra un aumento dell'11%); +6% dei ricoveri per le malattie a carico dell'apparato respiratorio, eccesso che raggiunge il 10% se si considerano i ricoveri per infezioni acute delle vie respiratorie.

Tra i bambini (0-14 anni) si osserva un eccesso di ospedalizzazioni per cause naturali del 5%. Inoltre, si registra un aumento del 5% delle ospedalizzazioni per malattie dell'apparato respiratorio, che raggiunge il 7% per le infezioni acute delle vie respiratorie.

Donne

Nel gruppo delle donne residenti nelle aree in studio si registra un aumento del rischio di ricovero per tutte le cause pari al 2%. Analizzando i ricoveri per causa specifica si osservano eccessi significativi per malattie del sistema circolatorio (+9%) e, nello specifico, per patologie cardiache (+16%) e ischemiche del cuore (+23%). Inoltre, le donne presentano un aumento del rischio di ospedalizzazione per malattie dell'apparato respiratorio pari al 7% per incremento unitario di PM_{10}, eccesso che sale all'11% prendendo in considerazione il sottogruppo delle infezioni acute delle vie respiratorie.

Tra le bambine (0-14 anni) si osserva un incremento delle ospedalizzazioni per tutte le cause del 5%.

Totale

L'intera coorte dei residenti presenta un aumento del 3% della frequenza di ricoveri per tutte le cause, per incremento unitario della concentrazione di PM_{10}. Prendendo in esame le ospedalizzazioni per causa specifica, si osservano eccessi significativi per patologie a carico del sistema cardiovascolare (+8%), specificatamente per malattie cardiache (+13%) e ischemiche del cuore (+14%), e per patologie dell'apparato respiratorio (+7%), in particolar modo per le infezioni acute delle vie respiratorie (+11%).

I bambini (0-14 anni) presentano un incremento del 4% del rischio di ospedalizzazione per tutte le cause naturali. Anche per il sottogruppo delle patologie a carico dell'apparato respiratorio si registra un aumento del 4% della frequenza di ricoveri, all'aumentare della concentrazione di PM_{10} a cui sono esposti.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

I risultati dello studio indicano che l'esposizione all'inquinamento atmosferico di *background* è associata ad un incremento delle ospedalizzazioni per disturbi cardiovascolari e respiratori. La frequenza di ricoveri per cause respiratorie, tra gli uomini residenti nella aree ad alta esposizione, è ulteriormente aumentata a seguito dell'attivazione dei termovalorizzatori. Poiché in questa coorte i residenti nel comune di San Vittore del Lazio fanno parte del gruppo di controllo, tutti gli eccessi osservati si riferiscono ai residenti nel comune di Colleferro.

L'eccesso di malattie dell'apparato respiratorio tra gli adulti e l'eccesso di asma bronchiale nei bambini è stata osservata in un recente studio condotto nell'area[17]. Gli autori attribuiscono gli eccessi osservati ad una esposizione cronica ad inquinamento ambientale. A tal proposito, anche una indagine nazionale sui disturbi respiratori nell'infanzia aveva rilevato una elevata prevalenza di asma bronchiale tra i bambini residenti a Colleferro[20].

In una situazione già complessa dal punto di vista della qualità dell'aria, l'attivazione dei termovalorizzatori sembra aver comportato un aumento del rischio di ricovero per problemi dell'apparato respiratorio del 26% (eccesso che raggiunge l'86% se si considerano le malattie polmonari cronico ostruttive) tra gli uomini residenti a Colleferro nelle zone ad alta concentrazione degli inquinanti emessi dagli impianti.

Il PM_{10}, scelto in questo studio come tracciante dell'inceneritore è stato utilizzato come marcatore per surrogati di esposizione a miscele complesse di sostanze inquinanti prodotte dai processi di combustione: particelle (PM_{10} ma anche frazioni di particolato più piccole), gas, metalli e composti organici[9,16].

L'aumento di rischio per malattie dell'apparato cardiovascolare e dell'apparato respiratorio all'aumentare delle concentrazioni di PM_{10} di background può essere considerato un effetto plausibile dell'inquinamento atmosferico tipico delle aree industriali, come indicato in letteratura. Esiste un corpo di evidenze scientifiche in grado di suffragare i risultati per quanto riguarda gli effetti cardiovascolari e respiratori derivanti anche da recenti studi che hanno valutato gli effetti

dell'inquinamento atmosferico ed in maniera integrata l'impatto su ambiente e salute del ciclo dei rifiuti[21-23].

Lo studio condotto da Ranzi e colleghi[16] sulla coorte dei residenti nei pressi di due inceneritori vicino Forlì ha osservato una mortalità generale e quella per cause tumorali inferiore a quella attesa su base regionale. Le analisi interne alla coorte, volte a valutare l'associazione tra l'esposizione agli inquinanti prodotti dai siti di incenerimento e la mortalità per causa, non hanno evidenziato alterazioni del rischio tra gli uomini. Tra le donne, invece, si è registrato un incremento della mortalità per tutte le cause in tutte le categorie di esposizione e un eccesso di decessi per malattie cardiovascolari in corrispondenza di una alta esposizione.

Lo studio presentato, grazie all'approccio di coorte utilizzato, alla disponibilità dei dati anagrafici, alla georeferenziazione dei residenti e all'uso dei modelli di dispersione per la stima delle concentrazioni al suolo del PM_{10}, ha consentito di attribuire i livelli di esposizione dei residenti nel territorio d'interesse. Tuttavia a tal proposito occorre precisare che, non avendo a disposizione per tutti i soggetti l'intera storia anagrafica dei movimenti domiciliari all'interno dello stesso comune o tra i comuni interessati, si è utilizzata la prima residenza nel periodo in studio.

Un ulteriore punto di forza dello studio è l'aver tenuto conto, nella stima delle associazioni tra inquinamento dell'aria e stato di salute della coorte, di variabili potenzialmente confondenti la relazione in studio, quali l'età, il livello socio-economico, la residenza in prossimità di strade, autostrade, industrie e, per il comune di Colleferro, di alcune criticità locali (residenza entro i confini di Colleferro Scalo e in prossimità del Fiume Sacco). Tuttavia sarebbe auspicabile poter disporre nell'analisi di altre informazioni, quali l'esposizione occupazionale (soprattutto in un territorio come quello di Colleferro, caratterizzato dalla presenza di numerosi stabilimenti industriali) e lo stile di vita (abitudine al fumo etc). Inoltre, l'impiego di una misura dello status socio-economico a livello individuale, e non a livello di piccola area di residenza, sicuramente consentirebbe una maggiore accuratezza nell'attribuzione del rischio per la salute connesso allo *status* degli individui coinvolti nello studio.

In conclusione, i risultati indicano che l'esposizione all'inquinamento atmosferico nella popolazione residente è associata ad un incremento delle ospedalizzazioni per disturbi

cardiovascolari e respiratori, sia tra gli uomini che tra le donne. Le ospedalizzazioni per patologie a carico dell'apparato respiratorio sono ulteriormente aumentate in seguito all'attivazione dei termovalorizzatori tra le persone di sesso maschile. I risultati possono essere considerati plausibili quando si considera che le emissioni degli impianti durante il periodo in esame potrebbero essere state diverse rispetto a quanto autorizzato.

BIBLIOGRAFIA

1. Tango T, Fujita T, Tanihata T et al: Risk of adverse reproductive outcomes associated with proximity to municipal solid waste incinerators with high dioxin emission levels in Japan. *J Epidemiol* 2004, 14:83-93.
2. Vinceti M, Malagoli C, Teggi S et al: Adverse pregnancy outcomes in a population exposed to the emissions of a municipal waste incinerator. *Sci Total Environ* 2008, 407:116-121.
3. Dummer TJ, Dickinson HO, Parker L: Adverse pregnancy outcomes around incinerators and crematoriums in Cumbria, North West England, 1956-93. *J Epidemiol Comm Health* 2003, 57:456-461.
4. Lin CH, Li CY, Mao I-F: Birth outcomes of infants born in areas with elevated ambient exposure to incinerators generated PCDD/F. *Environ Int* 2006, 32:624-629.
5. Elliott P, Hills M, Beresford J et al: Incidence of cancers of the larynx and lung near incinerators of waste solvents and oils in Great Britain. *Lancet* 1992, 339:854-858.
6. Elliott P, Shaddick G, Kleinschmidt I et al: Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain. *Br J Cancer* 1996, 73:702-710.
7. Viel JF, Arveux P, Baverel J, Cahn JY: Soft-tissue sarcoma and non-Hodgkin's lymphoma clusters around a municipal solid waste incinerator with high dioxin emission levels. *Am J Epidemiol* 2000, 152:13-19.
8. Floret N, Mauny F, Challier B, Arveux P, Cahn JY, Viel JF: Dioxin emissions from a solid waste incinerator and risk of non-Hodgkin lymphoma. *Epidemiology* 2003, 14:392-398.
9. Viel JF, Daniau C, Goria S, Fabre P, de Crouy-Chanel P, Sauleau EA, Empereur-Bissonnet P: Risk for non Hodgkin's lymphoma in the vicinity of French municipal solid waste incinerators. *Environ Health* 2008, 7:51.
10. Comba P, Ascoli V, Belli S et al: Risk of soft tissue sarcomas and residence in the neighbourhood of an incinerator of industrial wastes. *Occup Environ Med* 2003, 60:680-683.
11. Zambon P, Ricci P, Bovo E et al: Sarcoma risk and dioxin emissions from incinerators and industrial plants: a population-based case-control study (Italy). *Environ Health* 2007, 16:6-19.

12. Cordier S, Lehébel A, Amar E et al: Maternal residence near municipal waste incinerators and the risk of urinary tract birth defects. *Occup Environ Med* 2010, 67:493-499.
13. Franchini M, Rial M, Buiatti E, Bianchi F: Health effects of exposure to waste incinerator emissions: a review of epidemiological studies. *Ann Ist Super Sanita* 2004; 40:101-115.
14. WHO: Population health and waste management: scientific data and policy options. Report of a WHO workshop, Rome, Italy; 2007 [http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0012/91101/E91021.pdf].
15. Porta D, Milani S, Lazzarino AI, Perucci CA, Forastiere F: Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. *Environ Health* 2009, 8:60.
16. Ranzi A, Fano V, Erspamer L, Lauriola P, Perucci C e Forastiere F: Mortality and morbidity among people living close to incinerators: a cohort study based on dispersion modeling for exposure assessment. *Environ Health* 2011, 10: 10-22.
17. Fantini F, Porta D, Fano V et al: Indagini epidemiologiche sullo stato di salute della popolazione residente nell'area della Valle del Sacco. *Epidem*&Prev 2012, 36 (5 Suppl): 44-52.
18. Cesaroni G, Agabiti N, Rosati R, Forastiere F, Perucci CA. An index of socioeconomic position based on 2001 Census, Rome. *Epidem&Prev* 2006 Nov-Dec; 30(6):352-357.
19. Prentice R, Williams B, Peterson V: On the regression analysis of multivariate failure time data. *Biometrika* 1981, 68:373-379.
20. Sestini P, De Sario M, Bugiani M et al: Gruppo Collaborativo SIDRIA-2. *Epidem&Prev* 2005; 29(2 Suppl): 24-31.
21. ATS 1996. Health effects of outdoor air pollution. Committee of the environmental and occupational health assembly of the American Thoracic Society. *Am J Respir Crit Care Med* 153:3–50.
22. WHO 2005. Air quality guidelines : global update 2005 : particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide. Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA 3rd, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, Holguin F, Hong Y, Luepker RV, Mittleman MA, Peters A, Siscovick D, Smith SC Jr, Whitsel L, Kaufman JD; American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention, Council on the Kidney in Cardiovascular Disease, and Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An

update to the scientific statement from the American Heart Association. Circulation. 2010 Jun 1;121(21):2331-78.

23. Kim YM, Kim JW, Lee HJ: Burden of disease attributable to air pollutants from municipal solid waste incinerators in Seoul, Korea: a source-specific approach for environmental burden of disease. *Sci Total Environ* 2011, 409(11):2019-28.

Figura 1. Termovalorizzatore di Colleferro: concentrazione media annua del PM_{10} di *background*

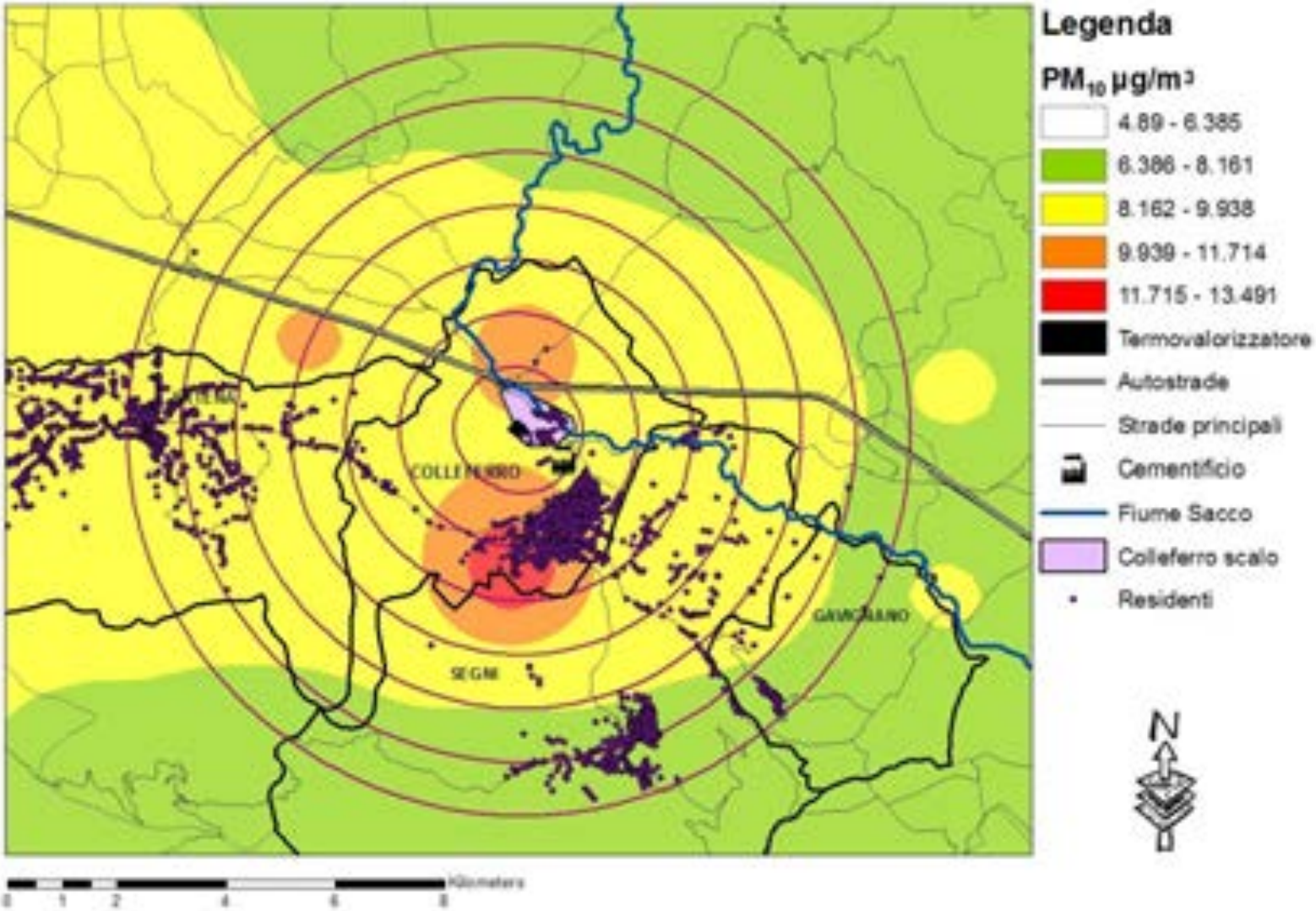


Figura 2. Termovalorizzatore di San Vittore del Lazio: concentrazione media annua di PM_{10} di *background*

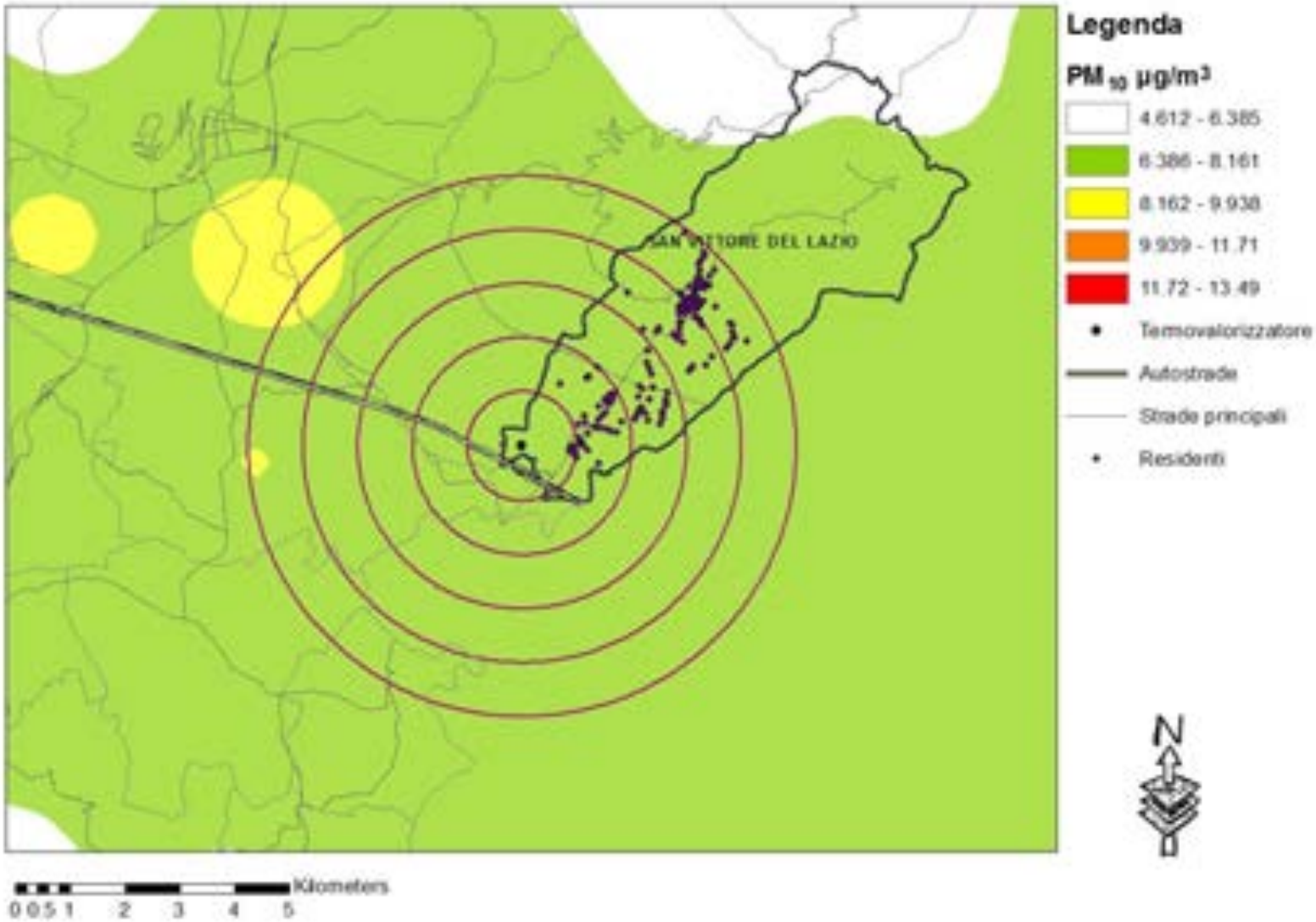


Figura 3. Termovalorizzatore di Colleferro: modello di dispersione del PM_{10} prodotto dall'impianto

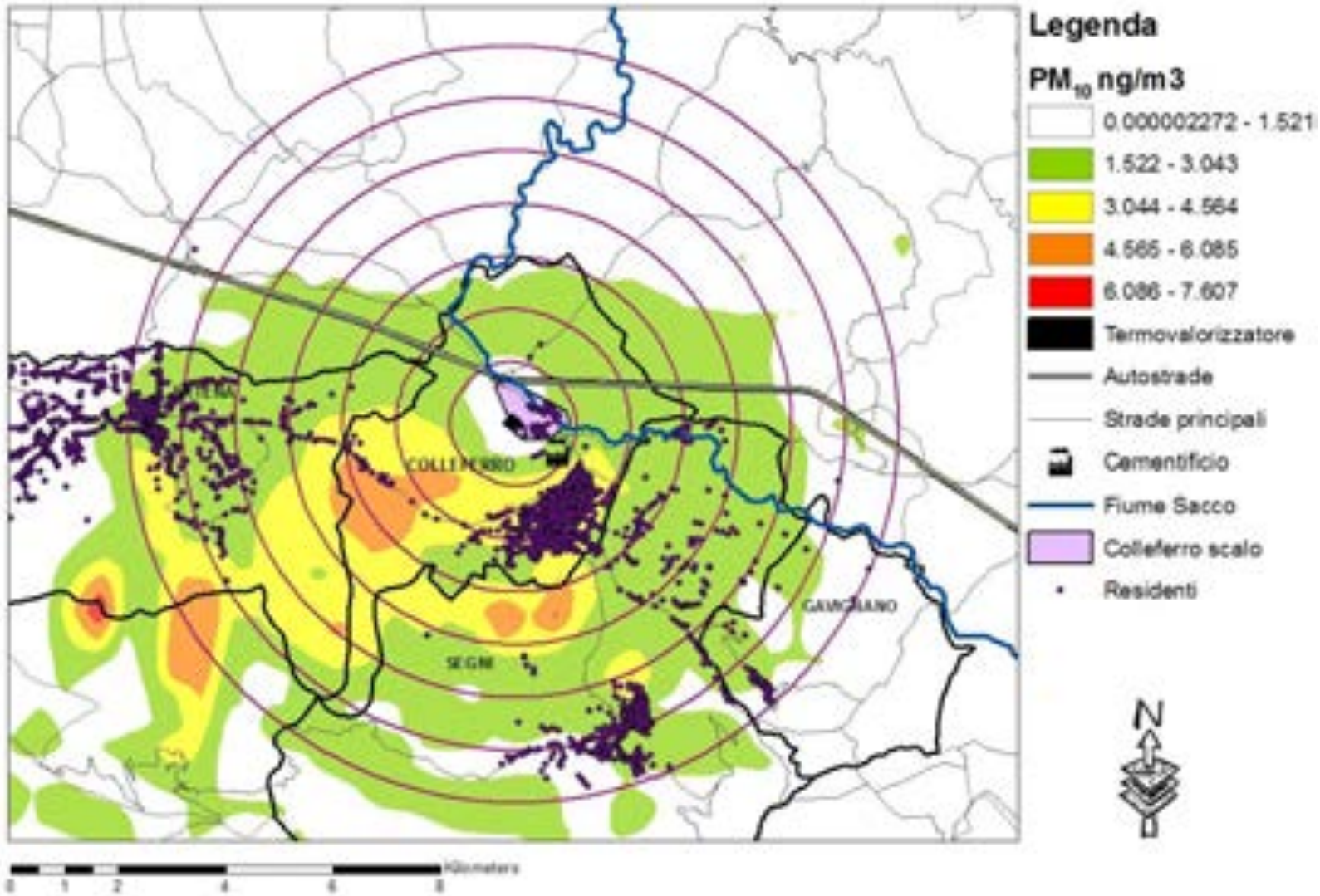


Figura 4. Termovalorizzatore di San Vittore del Lazio: modello di dispersione del PM_{10} prodotto dall'impianto

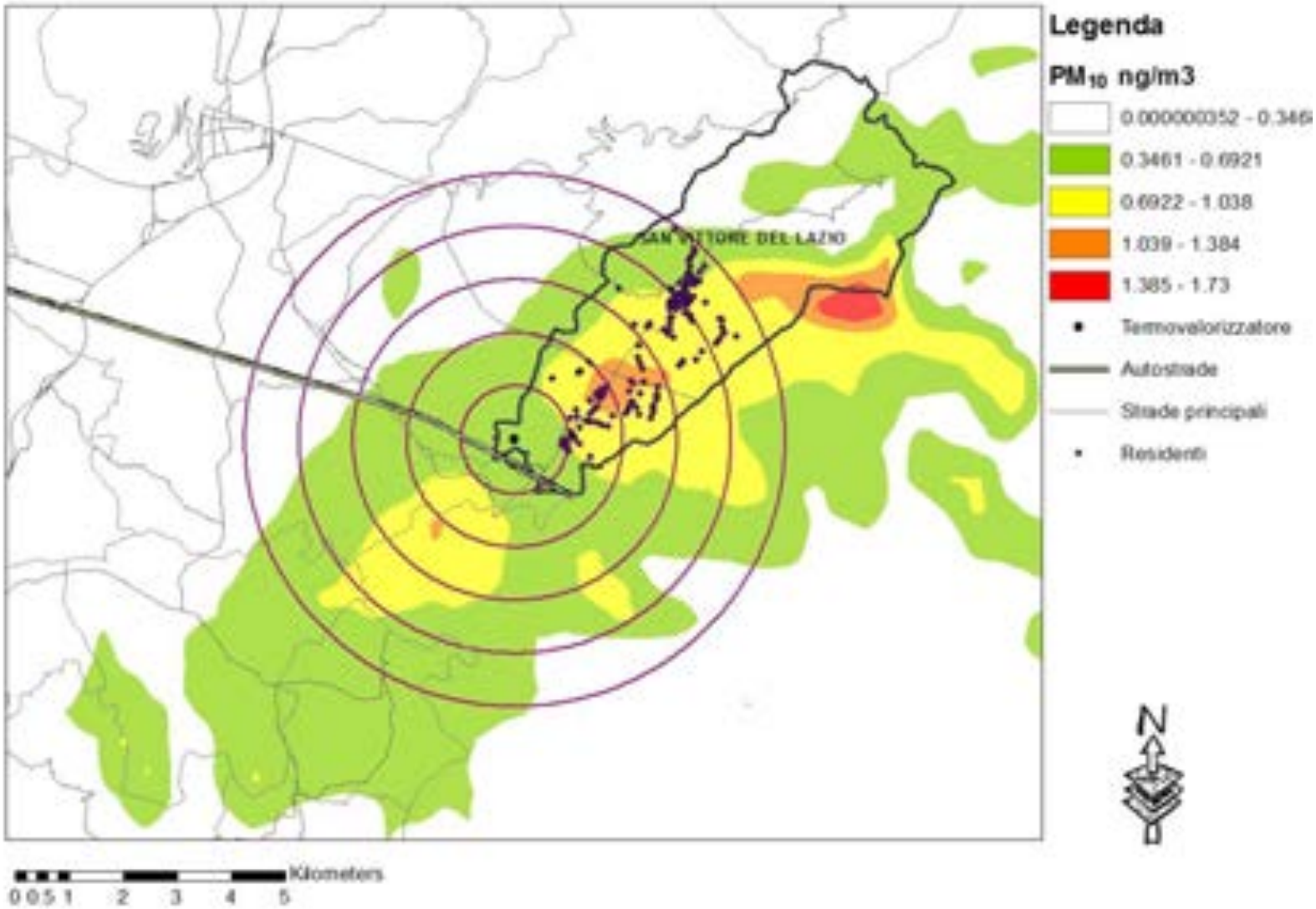


Figura 5. Termovalorizzatore di Colleferro: distribuzione dei residenti in base all'esposizione (bassa-media-alta) al PM_{10} prodotto dall'impianto

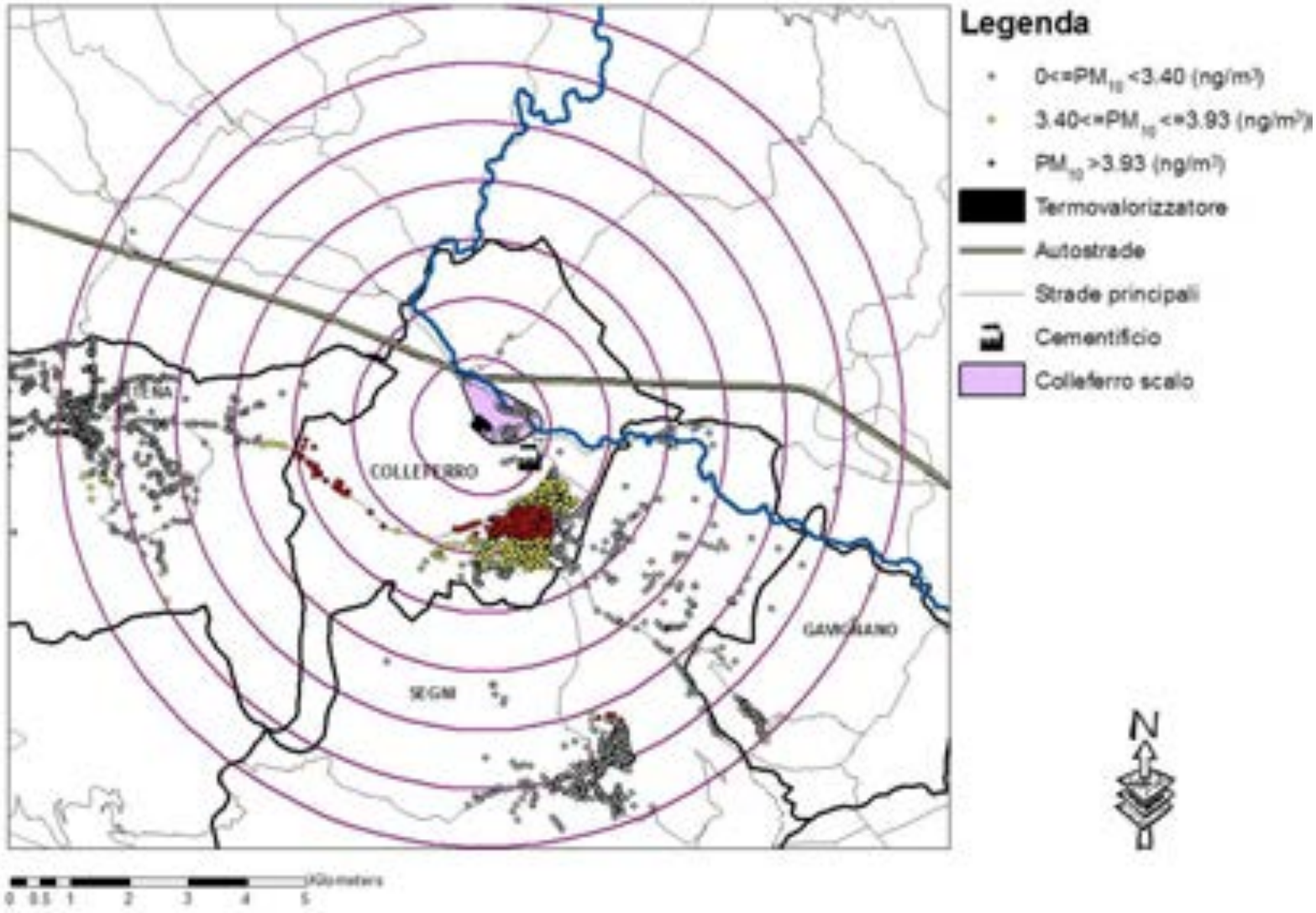


Figura 6. Termovalorizzatore di San Vittore del Lazio: distribuzione dei residenti in base all'esposizione (bassa-media-alta) al PM_{10} prodotto dall'impianto

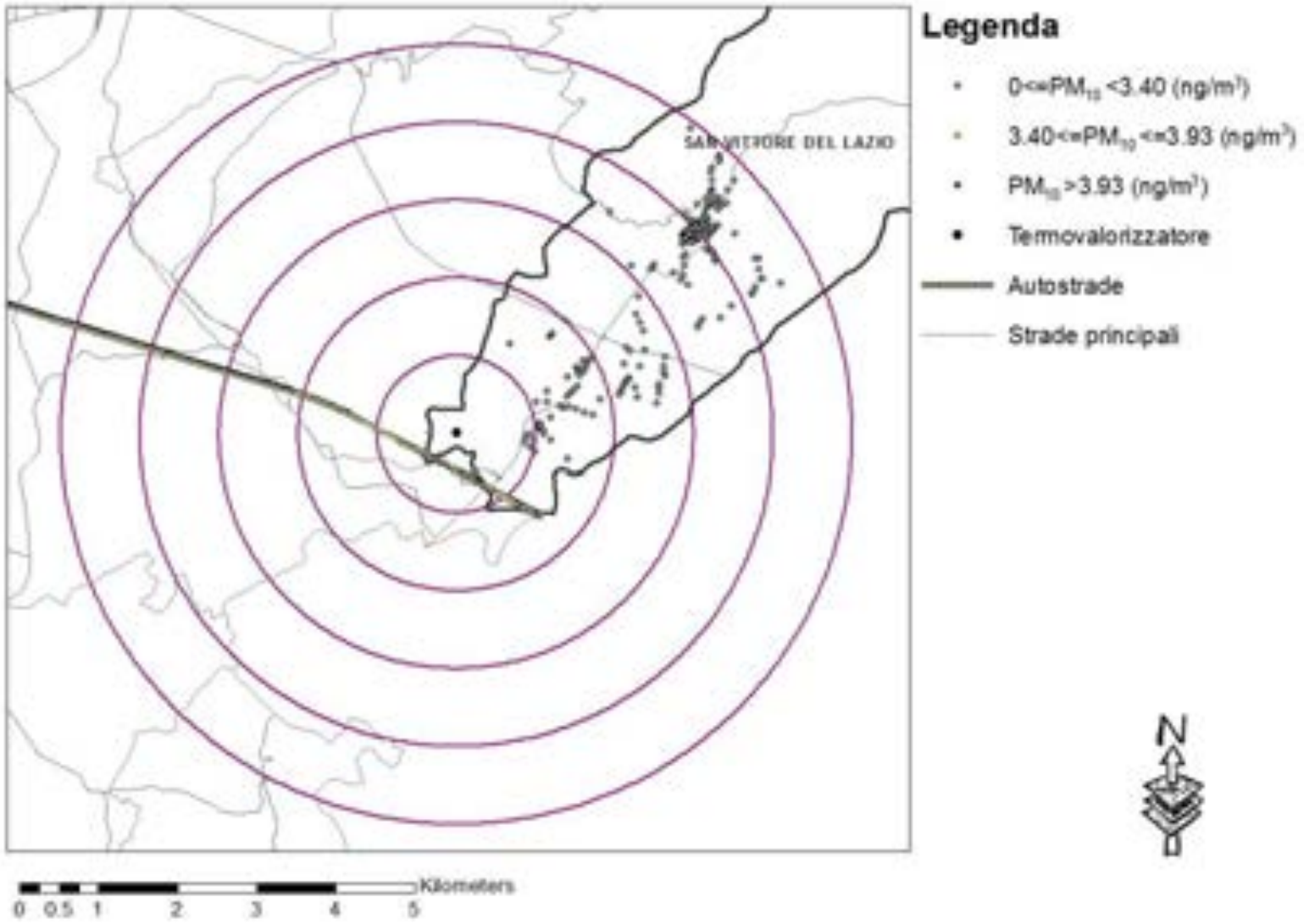


Tabella 1. Caratteristiche della coorte dei residenti nei periodi 1996-2008 e 2003-2008 (periodo di attività dei termovalorizzatori) per livelli di esposizione al PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori

		Residenti 1996-2008		Residenti 2003-2008 per esposizione al PM_{10} da termovalorizzatore							
				Bassa		Media		Alta		Totale	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
	Totale	47,192	100.0	20,857	100.0	12,132	100.0	8,390	100.0	41,379	100.0
Genere	Maschi	23,308	49.4	10,361	49.7	5,822	48.0	4,087	48.7	20,270	49.0
	Femmine	23,884	50.6	10,496	50.3	6,310	52.0	4,303	51.3	21,109	51.0
Età	0-14	10,369	22.0	3,841	18.4	2,193	18.1	1,264	15.1	7,298	17.6
	15-44	21,049	44.6	9,245	44.3	5,232	43.1	3,607	43.0	18,084	43.7
	45-64	9,573	20.3	4,387	21.0	2,890	23.8	1,965	23.4	9,242	22.3
	>65	6,201	13.1	3,384	16.2	1,817	15.0	1,554	18.5	6,755	16.3
Livello socio-economico	Alto	4,507	9.6	844	4.0	709	5.8	2,396	28.6	3,949	9.5
	Medio-alto	13,029	27.6	5,661	27.1	2,714	22.4	3,012	35.9	11,387	27.5
	Medio	15,552	33.0	4,792	23.0	5,825	48.0	2,963	35.3	13,580	32.8
	Medio-Basso	8,812	18.7	5,065	24.3	2,697	22.2	0	0.0	7,762	18.8
	Basso	2,910	6.2	2,543	12.2	0	0.0	0	0.0	2,543	6.1
	missing	2,382	5.0	1,952	9.4	187	1.5	19	0.2	2,158	5.2
Termovalorizzatore	Colleferro	44,342	94.0	18,203	87.3	12,132	100.0	8,390	100.0	38,725	93.6
	San Vittore	2,850	6.0	2,654	12.7	0	0.0	0	0.0	2,654	6.4
PM_{10} di background	< 50° percentile	22,328	47.3	17,490	83.9	1,977	16.3	230	2.7	19,697	47.6
	50° - 80° percentile	15,870	33.6	2,704	13.0	6,951	57.3	4,175	49.8	13,830	33.4
	> 80°percentile	8,994	19.1	663	3.2	3,204	26.4	3,985	47.5	7,852	19.0
PM_{10} cementificio	< 50° percentile	21,635	45.8	13,971	67.0	5,130	42.3	0	0.0	19,101	46.2
	50° - 80° percentile	16,896	35.8	6,644	31.9	90	0.7	7,993	95.3	14,727	35.6
	> 80°percentile	8,661	18.4	242	1.2	6,912	57.0	397	4.7	7,551	18.2
Strade principali	<= 150 m	25,954	55.0	11,710	56.1	5,156	42.5	5,953	71.0	22,819	55.1
Autostrade	<= 500 m	316	0.7	286	1.4	0	0.0	0	0.0	286	0.7
Industrie	0 - 1 Km	9,271	19.6	1,572	7.5	4,818	39.7	1,547	18.4	7,937	19.2
	1 - 2 Km	21,630	45.8	5,245	25.1	7,064	58.2	6,573	78.3	18,882	45.6
Fiume Sacco	<= 1 Km	5,401	11.4	2,201	10.6	2,447	20.2	10	0.1	4,658	11.3
Colleferro Scalo	Residenti	1,416	3.0	1,204	5.8	0	0.0	0	0.0	1,204	2.9
Stato in vita	Residenti	35,400	75.0	17,742	85.1	10,448	86.1	7,210	85.9	35,400	85.6
	Deceduti	4,399	9.3	1,179	5.7	572	4.7	421	5.0	2,172	5.2
	Emigrati o Irreperibili	7,393	15.7	1,936	9.3	1,112	9.2	759	9.0	3,807	9.2
Anni Persona	Pre-	240,580									
	Post-	208,935									

Tabella 2. Tassi grezzi (*1000 persone) di ospedalizzazione e Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per livelli di esposizione al PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori

a)Uomini

	Esposizione al PM_{10} da termovalorizzatori																							
	Bassa								Media								Alta							
CAUSA (ICD-9-CM)	Pre-attività				Post-attività				Pre-attività				Post-attività				Pre-attività				Post-attività			
	n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	5,176	93.4	90.9	96.0	4,883	97.9	95.2	100.7	2,969	84.5	81.5	87.6	2,673	90.5	87.2	94.0	2,036	79.8	76.4	83.3	1,910	91.2	87.2	95.3
Malattie sistema circolatorio (390-459)	1,043	18.8	17.7	20.0	1,069	21.4	20.2	22.8	595	16.9	15.6	18.3	585	19.8	18.3	21.5	379	14.9	13.4	16.4	439	21.0	19.1	23.0
Malattie cardiache (390-429)	654	11.8	10.9	12.7	668	13.4	12.4	14.4	359	10.2	9.2	11.3	367	12.4	11.2	13.8	236	9.2	8.1	10.5	295	14.1	12.6	15.8
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	190	3.4	3.0	4.0	237	4.8	4.2	5.4	144	4.1	3.5	4.8	128	4.3	3.6	5.2	106	4.2	3.4	5.0	117	5.6	4.7	6.7
Malattie cerebrovascolari (430-438)	205	3.7	3.2	4.2	232	4.7	4.1	5.3	107	3.0	2.5	3.7	131	4.4	3.7	5.3	49	1.9	1.5	2.5	73	3.5	2.8	4.4
Malattie apparato respiratorio (460-519)	649	11.7	10.8	12.6	672	13.5	12.5	14.5	305	8.7	7.8	9.7	337	11.4	10.3	12.7	201	7.9	6.9	9.0	243	11.6	10.2	13.2
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	179	3.2	2.8	3.7	222	4.5	3.9	5.1	89	2.5	2.1	3.1	112	3.8	3.2	4.6	60	2.4	1.8	3.0	66	3.2	2.5	4.0
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492;494;496)	166	3.0	2.6	3.5	97	1.9	1.6	2.4	40	1.1	0.8	1.6	37	1.3	0.9	1.7	35	1.4	1.0	1.9	37	1.8	1.3	2.4
Asma (493)	37	0.7	0.5	0.9	38	0.8	0.6	1.0	17	0.5	0.3	0.8	19	0.6	0.4	1.0	11	0.4	0.2	0.8	10	0.5	0.3	0.9
Popolazione 0-14 anni																								
Cause naturali (001-629;677-799)	687	64.3	59.7	69.3	811	65.1	60.7	69.7	443	67.3	61.3	73.8	478	66.0	60.4	72.2	253	56.9	50.3	64.4	298	62.6	55.9	70.1
Malattie apparato respiratorio (460-519)	221	20.7	18.1	23.6	256	20.5	18.2	23.2	124	18.8	15.8	22.5	150	20.7	17.7	24.3	75	16.9	13.5	21.2	99	20.8	17.1	25.3
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	93	8.7	7.1	10.7	100	8.0	6.6	9.8	44	6.7	5.0	9.0	65	9.0	7.0	11.4	25	5.6	3.8	8.3	30	6.3	4.4	9.0
Asma (493)	28	2.6	1.8	3.8	31	2.5	1.7	3.5	15	2.3	1.4	3.8	17	2.3	1.5	3.8	10	2.2	1.2	4.2	9	1.9	1.0	3.6

b)Donne

CAUSA (ICD-9-CM)	Esposizione al PM_{10} da termovalorizzatori																							
	Bassa								Media								Alta							
	Pre-attività				Post-attività				Pre-attività				Post-attività				Pre-attività				Post-attività			
	n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	4,731	81.5	79.2	83.9	4,771	92.2	89.6	94.9	2,741	73.3	70.6	76.1	2,751	85.3	82.2	88.5	1,920	72.0	68.8	75.3	1,905	85.4	81.7	89.3
Malattie sistema circolatorio (390-459)	959	16.5	15.5	17.6	1,053	20.4	19.2	21.6	487	13.0	11.9	14.2	577	17.9	16.5	19.4	310	11.6	10.4	13.0	350	15.7	14.1	17.4
Malattie cardiache (390-429)	605	10.4	9.6	11.3	671	13.0	12.0	14.0	291	7.8	6.9	8.7	365	11.3	10.2	12.5	189	7.1	6.1	8.2	221	9.9	8.7	11.3
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	111	1.9	1.6	2.3	116	2.2	1.9	2.7	57	1.5	1.2	2.0	86	2.7	2.2	3.3	50	1.9	1.4	2.5	45	2.0	1.5	2.7
Malattie cerebrovascolari (430-438)	188	3.2	2.8	3.7	218	4.2	3.7	4.8	95	2.5	2.1	3.1	118	3.7	3.1	4.4	64	2.4	1.9	3.1	75	3.4	2.7	4.2
Malattie apparato respiratorio (460-519)	405	7.0	6.3	7.7	430	8.3	7.6	9.1	248	6.6	5.9	7.5	298	9.2	8.2	10.3	162	6.1	5.2	7.1	168	7.5	6.5	8.8
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	129	2.2	1.9	2.6	167	3.2	2.8	3.8	73	2.0	1.6	2.5	94	2.9	2.4	3.6	46	1.7	1.3	2.3	38	1.7	1.2	2.3
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492;494;496)	72	1.2	1.0	1.6	53	1.0	0.8	1.3	33	0.9	0.6	1.2	38	1.2	0.9	1.6	18	0.7	0.4	1.1	16	0.7	0.4	1.2
Asma (493)	27	0.5	0.3	0.7	25	0.5	0.3	0.7	5	0.1	0.1	0.3	13	0.4	0.2	0.7	13	0.5	0.3	0.8	6	0.3	0.1	0.6
Popolazione 0-14 anni																								
Cause naturali (001-629;677-799)	548	53.1	48.9	57.8	633	54.0	50.0	58.4	354	57.7	52.0	64.1	361	51.7	46.6	57.3	205	51.9	45.3	59.5	228	55.4	48.6	63.0
Malattie apparato respiratorio (460-519)	147	14.3	12.1	16.8	178	15.2	13.1	17.6	113	18.4	15.3	22.2	119	17.0	14.2	20.4	64	16.2	12.7	20.7	66	16.0	12.6	20.4
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	64	6.2	4.9	7.9	91	7.8	6.3	9.5	43	7.0	5.2	9.5	51	7.3	5.6	9.6	22	5.6	3.7	8.5	18	4.4	2.8	6.9
Asma (493)	11	1.1	0.6	1.9	17	1.5	0.9	2.3	3	0.5	0.2	1.5	10	1.4	0.8	2.7	9	2.3	1.2	4.4	4	1.0	0.4	2.6

c)Totale

	Esposizione al PM_{10} da termovalorizzatori																							
	Bassa								Media								Alta							
CAUSA (ICD-9-CM)	Pre-attività				Post-attività				Pre-attività				Post-attività				Pre-attività				Post-attività			
	n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%		n	Tassi	IC 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	9,907	87.3	85.6	89.1	9,654	95.0	93.1	96.9	5,710	78.7	76.7	80.8	5,424	87.8	85.5	90.2	3,956	75.8	73.5	78.2	3,815	88.2	85.4	91.0
Malattie sistema circolatorio (390-459)	2,002	17.6	16.9	18.4	2,122	20.9	20.0	21.8	1,082	14.9	14.1	15.8	1,162	18.8	17.8	19.9	689	13.2	12.3	14.2	789	18.2	17.0	19.6
Malattie cardiache (390-429)	1,259	11.1	10.5	11.7	1,339	13.2	12.5	13.9	650	9.0	8.3	9.7	732	11.8	11.0	12.7	425	8.1	7.4	9.0	516	11.9	10.9	13.0
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	301	2.7	2.4	3.0	353	3.5	3.1	3.9	201	2.8	2.4	3.2	214	3.5	3.0	4.0	156	3.0	2.6	3.5	162	3.7	3.2	4.4
Malattie cerebrovascolari (430-438)	393	3.5	3.1	3.8	450	4.4	4.0	4.9	202	2.8	2.4	3.2	249	4.0	3.6	4.6	113	2.2	1.8	2.6	148	3.4	2.9	4.0
Malattie apparato respiratorio (460-519)	1,054	9.3	8.7	9.9	1,102	10.8	10.2	11.5	553	7.6	7.0	8.3	635	10.3	9.5	11.1	363	7.0	6.3	7.7	411	9.5	8.6	10.5
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	308	2.7	2.4	3.0	389	3.8	3.5	4.2	162	2.2	1.9	2.6	206	3.3	2.9	3.8	106	2.0	1.7	2.5	104	2.4	2.0	2.9
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492;494;496)	238	2.1	1.8	2.4	150	1.5	1.3	1.7	73	1.0	0.8	1.3	75	1.2	1.0	1.5	53	1.0	0.8	1.3	53	1.2	0.9	1.6
Asma (493)	64	0.6	0.4	0.7	63	0.6	0.5	0.8	22	0.3	0.2	0.5	32	0.5	0.4	0.7	24	0.5	0.3	0.7	16	0.4	0.2	0.6
Popolazione 0-14 anni																								
Cause naturali (001-629;677-799)	1,235	58.8	55.6	62.2	1,444	59.7	56.7	62.9	797	62.7	58.5	67.2	839	59.0	55.1	63.1	458	54.6	49.8	59.8	526	59.2	54.4	64.5
Malattie apparato respiratorio (460-519)	368	17.5	15.8	19.4	434	17.9	16.3	19.7	237	18.6	16.4	21.2	269	18.9	16.8	21.3	139	16.6	14.0	19.6	165	18.6	16.0	21.6
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	157	7.5	6.4	8.7	191	7.9	6.9	9.1	87	6.8	5.5	8.4	116	8.2	6.8	9.8	47	5.6	4.2	7.5	48	5.4	4.1	7.2
Asma (493)	39	1.9	1.4	2.5	48	2.0	1.5	2.6	18	1.4	0.9	2.2	27	1.9	1.3	2.8	19	2.3	1.4	3.5	13	1.5	0.9	2.5

Tabella 3. Effetto dei termovalorizzatori (confronto tra periodo post inizio attività vs periodo precedente) sull'ospedalizzazione nelle aree a media e alta concentrazione di PM_{10}: Rischi Relativi di ospedalizzazione (Hazard Ratio, HR), e relativi intervalli di confidenza (IC) al 95%, aggiustati per età, sede dell'impianto, classe di rischio, PM_{10} di *background*, livello socio-economico, residenza in prossimità di industrie, strade, autostrade, Fiume Sacco, residenza entro Colleferro Scalo
Nella seconda parte della tabella (b) sul totale dei residenti (uomini + donne) si riporta il *p-value* del test sul trend lineare tra le classi di esposizione.

a)Uomini - Donne

	Uomini									Donne								
Esposizione al PM_{10} da termovalorizzatori	Bassa	Media				Alta				Bassa	Media				Alta			
CAUSA (ICD-9-CM)	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	10,071	5,646	0.96	0.89	1.04	3,951	1.03	0.94	1.12	9,510	5,500	1.02	0.94	1.10	3,827	1.02	0.93	1.11
Malattie sistema circolatorio (390-459)	2,114	1,180	0.97	0.82	1.15	818	1.17	0.96	1.42	2,013	1,064	1.06	0.88	1.27	660	1.01	0.82	1.25
Malattie cardiache (390-429)	1,323	726	1.00	0.80	1.26	531	1.24	0.97	1.60	1,277	656	1.07	0.84	1.37	410	1.02	0.77	1.34
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	427	272	0.73	0.50	1.07	223	0.96	0.64	1.44	227	143	1.58	0.96	2.62	95	0.85	0.48	1.53
Malattie cerebrovascolari (430-438)	437	238	1.08	0.77	1.52	122	1.39	0.88	2.18	406	213	1.04	0.72	1.50	139	0.95	0.62	1.45
Malattie apparato respiratorio (460-519)	1,321	643	1.12	0.91	1.38	444	**1.26**	0.99	1.60	837	546	1.16	0.92	1.47	330	1.02	0.77	1.35
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	401	201	1.11	0.77	1.59	126	0.98	0.64	1.49	297	167	1.04	0.71	1.54	84	0.67	0.41	1.12
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492;494;496)	263	77	1.58	0.85	2.96	72	**1.86**	1.04	3.33	125	71	1.45	0.68	3.10	34	1.12	0.41	3.06
Asma (493)	75	36	1.30	0.54	3.11	21	1.07	0.41	2.84	52	18	3.05	0.93	10.03	19	0.56	0.16	1.91
Popolazione 0-14 anni																		
Cause naturali (001-629;677-799)	1,508	925	0.98	0.83	1.16	556	1.11	0.90	1.36	1,188	723	0.92	0.75	1.13	435	1.10	0.86	1.41
Malattie apparato respiratorio (460-519)	477	275	1.14	0.84	1.55	174	1.31	0.92	1.88	327	232	0.91	0.64	1.29	130	1.01	0.67	1.54
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	193	109	1.60	0.98	2.62	55	1.33	0.70	2.53	156	94	0.88	0.52	1.50	40	0.73	0.36	1.50
Asma (493)	59	32	1.18	0.46	3.05	19	0.92	0.32	2.60	28	13	2.16	0.48	9.79	13	0.33	0.06	1.67

b)Totale

	Totale									
Esposizione al PM_{10} da termovalorizzatori	Bassa	Media				Alta				Trend lineare
CAUSA (ICD-9-CM)	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		p-value
Cause naturali (001-629;677-799)	19,581	11,146	0.99	0.94	1.05	7,778	1.02	0.96	1.09	0.584
Malattie sistema circolatorio (390-459)	4,127	2,244	1.01	0.89	1.15	1,478	1.08	0.94	1.25	0.309
Malattie cardiache (390-429)	2,600	1,382	1.04	0.88	1.23	941	1.13	0.94	1.36	0.214
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	654	415	0.94	0.69	1.27	318	0.92	0.66	1.28	0.585
Malattie cerebrovascolari (430-438)	843	451	1.07	0.83	1.37	261	1.13	0.83	1.54	0.401
Malattie apparato respiratorio (460-519)	2,158	1,189	1.13	0.97	1.32	774	1.14	0.96	1.37	**0.088**
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	698	368	1.08	0.83	1.41	210	0.84	0.61	1.15	0.448
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492;494;496)	388	148	1.51	0.92	2.49	106	1.56	0.96	2.54	**0.038**
Asma (493)	127	54	1.66	0.83	3.31	40	0.80	0.37	1.72	0.896
Popolazione 0-14 anni										
Cause naturali (001-629;677-799)	2,696	1,648	0.96	0.84	1.09	991	1.12	0.96	1.31	0.301
Malattie apparato respiratorio (460-519)	804	507	1.03	0.82	1.30	304	1.19	0.90	1.56	0.267
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	349	203	1.22	0.85	1.75	95	1.04	0.65	1.66	0.616
Asma (493)	87	45	1.32	0.60	2.90	32	0.64	0.27	1.56	0.467

Tabella 4. Effetto del PM_{10} di *background*: Rischi Relativi di ospedalizzazione (Hazard Ratio, HR) aggiustati per esposizione al PM_{10} da termovalorizzatore (Post vs Pre inizio attività), età, sede dell'impianto, classe di rischio, livello socio-economico, residenza in prossimità di industrie, strade, autostrade, Fiume Sacco, entro i confini di Colleferro Scalo e relativi intervalli di confidenza (IC) al 95% per incremento lineare di PM_{10} di *background*.

Esposizione al PM_{10} di background	Effetto lineare											
	Uomini				Donne				Totale			
CAUSA (ICD-9-CM)	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	19,668	**1.04**	1.02	1.07	18,837	**1.02**	1.00	1.04	38,505	**1.03**	1.02	1.05
Malattie sistema circolatorio (390-459)	4,112	**1.07**	1.01	1.14	3,737	**1.09**	1.03	1.16	7,849	**1.08**	1.03	1.13
Malattie cardiache (390-429)	2,580	**1.11**	1.03	1.21	2,343	**1.16**	1.08	1.25	4,923	**1.13**	1.07	1.20
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	922	1.09	0.96	1.25	465	**1.23**	1.05	1.44	1,387	**1.14**	1.03	1.26
Malattie cerebrovascolari (430-438)	797	0.95	0.84	1.08	758	0.89	0.77	1.03	1,555	0.93	0.85	1.02
Malattie apparato respiratorio (460-519)	2,408	**1.06**	1.01	1.13	1,713	**1.07**	1.00	1.14	4,121	**1.07**	1.02	1.11
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	728	**1.10**	1.02	1.18	548	**1.11**	1.01	1.22	1,276	**1.11**	1.04	1.18
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492;494;496)	412	1.03	0.83	1.29	230	1.17	0.92	1.47	642	1.06	0.91	1.24
Asma (493)	132	1.03	0.87	1.23	89	0.87	0.64	1.17	221	0.98	0.85	1.14
Popolazione 0-14 anni												
Cause naturali (001-629;677-799)	2,989	**1.05**	1.01	1.09	2,346	**1.05**	0.99	1.11	5,335	**1.04**	1.01	1.08
Malattie apparato respiratorio (460-519)	926	**1.05**	0.99	1.11	689	1.03	0.94	1.11	1,615	**1.04**	0.99	1.09
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	357	1.07	0.98	1.16	290	1.02	0.90	1.15	647	1.05	0.97	1.12
Asma (493)	110	1.02	0.85	1.23	54	0.94	0.71	1.26	164	1.00	0.86	1.16

VALUTAZIONE EPIDEMIOLOGICA DELLO STATO DI SALUTE DELLA POPOLAZIONE RESIDENTE NEI PRESSI DEGLI IMPIANTI PER IL TRATTAMENTO MECCANICO-BIOLOGICO DEI RIFIUTI URBANI DEL LAZIO

RIASSUNTO

INTRODUZIONE. Il trattamento meccanico-biologico (TMB) è una tecnologia di trattamento a freddo dei rifiuti indifferenziati (e/o avanzati dalla raccolta differenziata) che sfrutta l'abbinamento di processi meccanici a processi biologici quali la digestione anaerobica e il compostaggio. Appositi macchinari separano la frazione umida (l'organico da bioessicare) dalla frazione secca (carta, plastica, vetro, inerti ecc.); quest'ultima frazione può essere in parte riciclata oppure usata per produrre combustibile derivato dai rifiuti (CDR) rimuovendo i materiali incombustibili. Obiettivo di questo studio è valutare l'associazione tra la residenza nei pressi degli impianti per il TMB dei rifiuti presenti nel Lazio e il ricorso alle cure ospedaliere.

METODI. 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 dai TMB di Casale Bussi (VT) e Rocca Cencia e Roma Salaria a Roma. L'accertamento dello stato in vita fino al 31 dicembre 2008 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 la concentrazione di un inquinante "tracciante" proveniente da un impianto di TMB, stimata attraverso un modello di dispersione. Per valutare l'associazione tra l'indicatore di esposizione e morbosità 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, variabili socio-economiche individuali e di area, PM_{10} come indicatore di inquinamento atmosferico di fondo, residenza in prossimità di strade principali, autostrade e industrie.

RISULTATI. La coorte è composta da 265,052 persone, delle quali 8,933 residenti in zone in cui si osserva la massima ricaduta dell'inquinante "tracciante" emesso dall'impianto (gruppo dei più esposti). I dati a disposizione evidenziano una associazione tra stato socio economico più svantaggiato e residenza in aree a più alto impatto degli impianti (percentuali maggiori di basso livello di istruzione, di lavoratori manuali e disoccupati, livello socio economico basso e medio basso nel gruppo degli esposti rispetto al gruppo di riferimento).

I rischi di ospedalizzazione generale della popolazione esposta a più alti livelli dell'inquinante generico non differiscono da quelli della popolazione non esposta (HR=1.02, IC95%=0.95-1.10, HR= 0.97, IC 95% 0.90-1.05). Anche per le malattie dell'apparato circolatorio e respiratorio non si riscontra nessuna associazione tra l'esposizione in studio e il ricorso ai ricoveri ospedalieri.

CONCLUSIONI. Lo studio non ha evidenziato differenze nell'accesso alle cure ospedaliere per coloro che sono maggiormente esposti all'impatto degli impianti per il Trattamento Meccanico Biologico dei rifiuti di Roma Salaria e Rocca Cencia.

INTRODUZIONE

Il trattamento meccanico-biologico (TMB) è una tecnologia di trattamento a freddo dei rifiuti indifferenziati (e/o avanzati dalla raccolta differenziata) che sfrutta l'abbinamento di processi meccanici a processi biologici quali la digestione anaerobica e il compostaggio. Appositi macchinari separano la frazione umida (l'organico da bioessicare) dalla frazione secca (carta, plastica, vetro, inerti ecc.); quest'ultima frazione può essere in parte riciclata oppure usata per produrre combustibile derivato dai rifiuti (CDR) rimuovendo i materiali incombustibili. La parte meccanica si riferisce alla fase di separazione e classificazione delle varie componenti dei rifiuti mediante sistemi meccanici automatizzati (nastri trasportatori, magneti industriali), in modo tale che dalla massa dei rifiuti vengano rimossi i componenti riciclabili e tutti gli altri componenti destinabili solamente alla discarica. La fase biologica successiva consiste nel trattamento vero e proprio della parte organica del rifiuto. Questa è costituita principalmente dalla frazione umida del rifiuto unitamente alla frazione costituita da carta e cartone, oltre che da altri rifiuti derivati dal legno. Trattandosi di materiali caratterizzati da una differente fermescibilità, la loro destinazione si può differenziare seguendo due linee differenti:

- la frazione altamente fermentescibile viene coinvolta in un trattamento di digestione anaerobica per la produzione di biogas e di sottoprodotti utilizzabili come fertilizzanti, oppure in un trattamento aerobico (compostaggio) per la produzione di fertilizzante (compost);
- la frazione scarsamente fermentescibile (biostabilizzato) prevede invece la produzione di materiale inerte di natura biologica particolarmente adatto a varie applicazioni volte al recupero ambientale, paesaggistico e alla copertura giornaliera di discariche (al posto della terra) senza avere emissioni di metano o l'impiego nella preparazione di Combustibile Derivato dai Rifiuti (CDR), nel caso il contenuto energetico dello stesso sia adeguato.

Nel Lazio sono presenti sette impianti di TMB, di cui due sono collocati nel territorio adiacente alla discarica di Malagrotta ed altri due nelle immediate vicinanze delle discariche di Albano Laziale e Colfelice. Avendo già, nel corso del progetto ERAS, valutato lo stato di salute della popolazione residente in prossimità delle discariche, si è deciso quindi di prendere in esame solo gli impianti di TMB di Casale Bussi presso il

comune di Viterbo (che dista circa 8 Km dalla discarica provinciale), Rocca Cencia e Roma Salaria siti presso il comune di Roma.

Obiettivo di questo studio è quello di valutare lo stato di salute dei residenti nei pressi degli impianti per il TMB dei rifiuti urbano di Casale Bussi (VT) e Rocca Cencia e Roma Salaria a Roma.

METODI

Descrizione degli impianti

L'impianto di Rocca Cencia è gestito dall'AMA S.p.a. e copre una superficie di circa 72,000 mq. Il TMB di Roma Salaria, anch'esso gestito dall'AMA S.p.a., si estende su una superficie di 70,000 mq circa. Entrambi i TMB hanno una capacità potenziale lavorativa giornaliera di circa 650 tonnellate di rifiuti. Sul totale degli scarti trattati, il 30% è costituito da frazione secca, che principalmente diventa CDR, mentre il 20% si trasforma in frazione organica stabilizzata (FOS), utilizzabile per la ricopertura delle discariche.

L'impianto di Casale Bussi è stato attivato nell'anno 2000 ed è attualmente gestito da Ecologia Viterbo S.r.l. L'impianto copre una superficie di 31,200 mq e ha una capacità lavorativa di circa 600 tonnellate al giorno. Circa il 30% del prodotto finale è costituito da frazione secca e il 15% da frazione umida (FOS).

Area in studio

L'area in studio ha compreso i comuni che rientrano in un raggio di 5 Km dal perimetro dagli impianti. I perimetri degli impianti sono stati geocodificati utilizzando il software GIS (Geographic Information System). 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).

Indicatori di esposizione

Poiché non è semplice identificare l'inquinante tipico di un impianto di TMB si è deciso di valutare l'esposizione della popolazione esprimendo le emissioni diffuse dei TMB

attraverso un inquinante generico "tracciante" e ipotizzando una emissione area fissata, per convenzione, ad 1 tonnellata/anno. L'area degli impianti è stata approssimata attraverso celle quadrate di lato pari a 125x125 m e sono stati calcolati i tassi di emissione dell'inquinante generico per ogni cella. I tassi di emissione sono stati considerati come dati di input per un modello di dispersione lagrangiano che usa informazioni sulle emissioni, sulla orografia del territorio e sulla meteorologia (anno 2005). Questa procedura ha consentito la produzione di mappe di concentrazione media annuale al suolo specifiche per TMB che, sebbene non contengano informazioni utili sulle concentrazioni assolute nei singoli punti (poiché non è stata scelta una sostanza specifica, né è stata stimata un'emissione annua per tale sostanza), consentono di comprendere come si disperde un generico inquinante emesso dall'impianto nell'area circostante e compiere quindi una valutazione dell'esposizione.

Sono stati considerati come non esposti i residenti in aree in cui, rispetto alla massima concentrazione stimata dal modello, si osservava una percentuale dell'inquinante generico inferiore al 2%. Sono invece stati considerati come molto esposti i residenti in aree in cui rispetto alla massima concentrazione stimata dal modello si osservava una percentuale dell'inquinante generico superiore al 5%.

Arruolamento della coorte e procedure di follow-up

La coorte dei residenti nel comune di Roma è stata selezionata dallo studio longitudinale romano (2,5 milioni di residenti nell'ottobre 2001). Il disegno dello studio e le sue principali caratteristiche sono state presentate in un articolo pubblicato da Cesaroni et al. nel 2010.[22] Sono stati selezionati tutti i residenti nell'area di 5 km dagli impianti di Rocca Cencia e Roma Salaria che hanno vissuto nello stesso indirizzo da almeno 5 anni prima della data di arruolamento fissata al 31 ottobre 2001.

Per quanto riguarda la coorte dei residenti nel comune di Viterbo (85,895) i risultati hanno evidenziato come tra i 2,389 residenti nei 5 km intorno al TMB di Casale Bussi solo 106 risiedessero tra 0-2 km e di questi solo 32 nel primo km. Per questo motivo si è deciso di escludere dall'analisi quest'area.

Tutti i soggetti arruolati nella coorte dei residenti nell'area di 5 km dagli impianti di Rocca Cencia e Roma Salaria sono stati seguiti per quanto riguarda il proprio stato in vita fino al 31 dicembre 2010. I soggetti emigrati dal comune di residenza in un altro

comune sono stati considerati vivi fino al momento della emigrazione, e il *follow-up* è dunque cessato al momento della migrazione stessa. L'attribuzione del ricorso alle cure ospedaliere alla coorte è stata effettuata con procedure di record-linkage, che sono state effettuate usando codici individuali anonimi nel rispetto delle leggi sulla privacy. In sostanza, i soggetti della coorte sono stati considerati a rischio fino al momento del decesso o di emigrazione dal comune di Roma o fino all'ultimo giorno di *follow-up*, il 31 dicembre 2010.

E' importante sottolineare che la coorte dello studio longitudinale romano non tiene conto delle nascite e delle immigrazioni avvenute dal 2001 al 2010, dunque la coorte di residenti non subisce nessun incremento, è una coorte chiusa. Per questo motivo questo studio non valuta lo stato di salute dei bambini e delle bambine, nati e residenti nell'aree studiate e non considera le persone che hanno preso la residenza successivamente all'ottobre 2001. Questa evidente limitazione è tuttavia bilanciata dalla ricchezza delle informazioni individuali disponibili per la coorte dello Studio Longitudinale di Roma.

Ad ogni soggetto della coorte è stato assegnato un valore dell'inquinante "tracciante" corrispondente alle concentrazioni stimate dal modello di dispersione per la porzione di territorio di residenza del soggetto.

Esiti di salute

Gli impianti in studio hanno iniziato la loro attività in periodi relativamente recenti per accertare esiti associati ad esposizioni di lungo periodo. In questa indagine, quindi, non sono in studio la mortalità, l'occorrenza di patologie tumorali o di patologie croniche. Gli esiti considerati sono invece le ospedalizzazioni sia per cause naturali - escludendo parto e traumatismi - (ICD IX-CM 001-629;677-799) sia per malattie cardiovascolari (ICD IX-CM 390-459) e per patologie dell'apparato respiratorio (ICD IX-CM 460-519). Non sono inclusi nelle analisi eventuali ricoveri della stessa persona avvenuti entro 30 giorni dalla data di dimissione di ciascun episodio di ricovero in studio.

Le informazioni derivano dal Sistema Informativo Ospedaliero (SIO) del Lazio che rileva e gestisce i dati analitici di tutti i ricoveri ospedalieri (in acuzie e post-acuzie) che ogni anno si verificano negli Istituti di Ricovero e Cura (pubblici e privati)

regionali. A tutte le persone della coorte sono stati attribuiti, utilizzando il codice fiscale come chiave di *linkage*, la diagnosi principale, la data di ricovero e di dimissione degli eventuali ricoveri per le cause studiate avuti nel periodo di *follow-up*.

Altre informazioni individuali e fattori di confondimento

A ciascun soggetto sono state attribuite le seguenti caratteristiche individuali: livello di istruzione (alto: università, medio: scuola superiore, basso: scuola dell'obbligo), occupazione (lavori non manuali, lavori manuali, pensionato, non lavoratore), stato civile (sposato, single, separato/divorziato, vedovo), nazionalità (italiana, altro) e un indicatore di livello socio-economico (SES) basato sulla sezione di censimento di residenza (alto, medio, basso).

Oltre alle caratteristiche di esposizione in esame, sono state considerate altre informazioni ambientali che possono essere considerate fattori di confondimento per le relazioni in studio, in particolare la vicinanza a strade ed autostrade trafficate, la vicinanza ad impianti industriali, l'inquinamento diffuso da PM_{10}. Per ognuno di questi fattori sono stati creati degli indicatori come di seguito descritto.

Sono stati calcolati per ogni soggetto della coorte due indicatori di inquinamento da traffico veicolare: la presenza/assenza di autostrada nel raggio di 500 m dalla residenza e la presenza/assenza di strade principali in 150 m dalla residenza. Per classificare la tipologia di strade sono state utilizzate 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).

Sono stati georeferenziati i siti industriali presenti nell'area in studio e ad ogni soggetto è stata attribuita l'eventuale residenza in prossimità degli impianti (entro 1 Km, tra 1 e 2 Km). Le industrie suddette si occupano prevalentemente della produzione di materiali edilizi, asfalti e bitumi e della costruzione e manutenzione di pavimentazioni stradali, autostradali ed aeroportuali.

Ad ogni soggetto della coorte è stato attribuito inoltre un valore di concentrazione media annua di PM_{10} come misura della qualità dell'aria nella zona di residenza. La valutazione delle concentrazioni è stata effettuata mediante il modello lagrangiano SPRAY ver. 5 (Arianet srl, Milano, Italia) su tutta la regione Lazio con una

risoluzione di 4x4 Km. Il modello è stato sviluppato da ARPA Lazio mediante l'integrazione delle catene modellistiche RAMS e FARM e ha utilizzato il censimento delle emissioni del 2005 fornite da ISPRA. Il modello simula il trasporto, la dispersione e la ricaduta degli inquinanti emessi da diverse fonti su terreni complessi e con la presenza di ostacoli, seguendo il percorso di particelle fittizie nel flusso turbolento dell'atmosfera. Per stimare la dispersione delle concentrazioni degli inquinanti al suolo sono stati studiati l'orografia del territorio, i dati meteorologici mensili (le componenti del vento e della temperatura), le caratteristiche della turbolenza nella bassa atmosfera e la distribuzione oraria spaziale (orizzontale e verticale) delle emissioni inquinanti.

Analisi statistica

E' stata valutata l'associazione tra la residenza nei pressi dei TMB e le ospedalizzazioni per cause cardiorespiratorie della coorte. I soggetti della coorte, residenti entro 5 km, sono stati classificati sulla base della distribuzione percentile di un inquinante generico emesso dai TMB registrata al loro indirizzo di residenza.
L'associazione tra l'esposizione di interesse e il ricorso alle cure ospedaliere è stata valutata in un'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%). Nel modello multivariato di analisi l'età è stata considerata come asse temporale e sono state introdotte le seguenti variabili di aggiustamento: istruzione, occupazione, stato civile, luogo di nascita, posizione socio-economica, residenza in prossimità di strade principali, residenza entro 500 m da autostrade, residenza entro 2 Km dalle industrie della regione, concentrazione media annua di PM_{10}.

RISULTATI

Nella figura 1 è riportata la localizzazione degli impianti per il TMB dei rifiuti e la dispersione della concentrazione media annua di PM_{10} ($\mu g/m^3$).

Nella figura 2 è riportata la localizzazione dei TMB, gli anelli concentrici che descrivono la distanza dai TMB (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, e 4-5 Km) calcolati a partire dal confine perimetrale dei TMB stessi, i risultati dei modelli di dispersione per

l'inquinante "tracciante", le autostrade e le strade principali e i membri della coorte residenti all'inizio del *follow-up* opportunamente georeferenziati.

La tabella 1 mostra la coorte totale dei residenti per livello di esposizione all'inquinante "tracciante" emesso dai TMB, per sesso, età all'inizio del *follow-up*, livello di istruzione, occupazione, stato civile, luogo di nascita, livello socio-economico, TMB, distanza dal perimetro dei TMB, livello di PM_{10} all'indirizzo di residenza (<50° percentile, 50°-90° percentile e >90°percentile), residenza vicino a strade principali, autostrade e industrie.

La coorte è composta da 265,052 persone, delle quali 8,933 residenti in zone in cui si osserva la massima ricaduta dell'inquinante "tracciante" emesso dagli impianti (gruppo dei più esposti) e 265,052 residenti in zone dove questa ricaduta è la più bassa (gruppo di controllo). La distribuzione per età della popolazione mostra un aumento della quota dei residenti di età maggiore di 65 anni tra i residenti nella fasce a minore esposizione (23.4 % nel gruppo di controllo vs il 15.1% che si osserva nel gruppo dei più esposti). I dati a disposizione evidenziano una associazione tra stato socio economico più svantaggiato e residenza in aree ad alta concentrazione degli inquinanti emessi dagli impianti (percentuali maggiori di basso livello di istruzione, di lavoratori manuali e disoccupati, livello socio economico basso e medio basso nel gruppo degli esposti rispetto al gruppo di controllo). Tutto il gruppo degli esposti risiede in zone comprese tra 1 e 2 km dal perimetro dei TMB mentre la popolazione esposta ad alte concentrazioni di PM_{10} si trova solamente nel gruppo di controllo (Tabella 1).

La tabella 2 – a) uomini e b) donne - illustra i risultati dello studio relativo alle persone ricoverate; i risultati sono presentati in termini di confronto interno per livelli di esposizione all'inquinante "tracciante".

Uomini

I rischi di ospedalizzazione generale della popolazione maschile esposta a più alti livelli dell'inquinante generico non differiscono da quelli della popolazione non esposta (HR=1.02, IC95%=0.95-1.10). Anche per le malattie dell'apparato circolatorio e respiratorio non si riscontra nessuna associazione tra l'esposizione in studio e il ricorso ai ricoveri ospedalieri.

Donne

Così come per gli uomini, anche tra le donne che risiedono in zone con alta concentrazione dell'inquinante "tracciante" non si riscontrano differenze nel ricorso alle cure ospedaliere rispetto alle donne residenti in aree in cui la concentrazione stimata al suolo dell'inquinante "tracciante" è minore. L'HR grezzo mostra un'associazione tra ricoveri per malattie ischemiche del cuore e malattie cerebrovascolari che scompare quando i risultati vengono aggiustati per caratteristiche individuali e ambientali.

CONCLUSIONI

Lo studio non ha evidenziato differenze nell'accesso alle cure ospedaliere per coloro che sono maggiormente esposti alle emissioni degli impianti per il Trattamento Meccanico Biologico dei rifiuti di Roma Salaria e Rocca Cencia.

Figura 1. Localizzazione e perimetri dei TMB in studio, buffer di 5 Km dal perimetro e livelli di PM_{10} ($\mu g/m^3$) nell'area di Roma

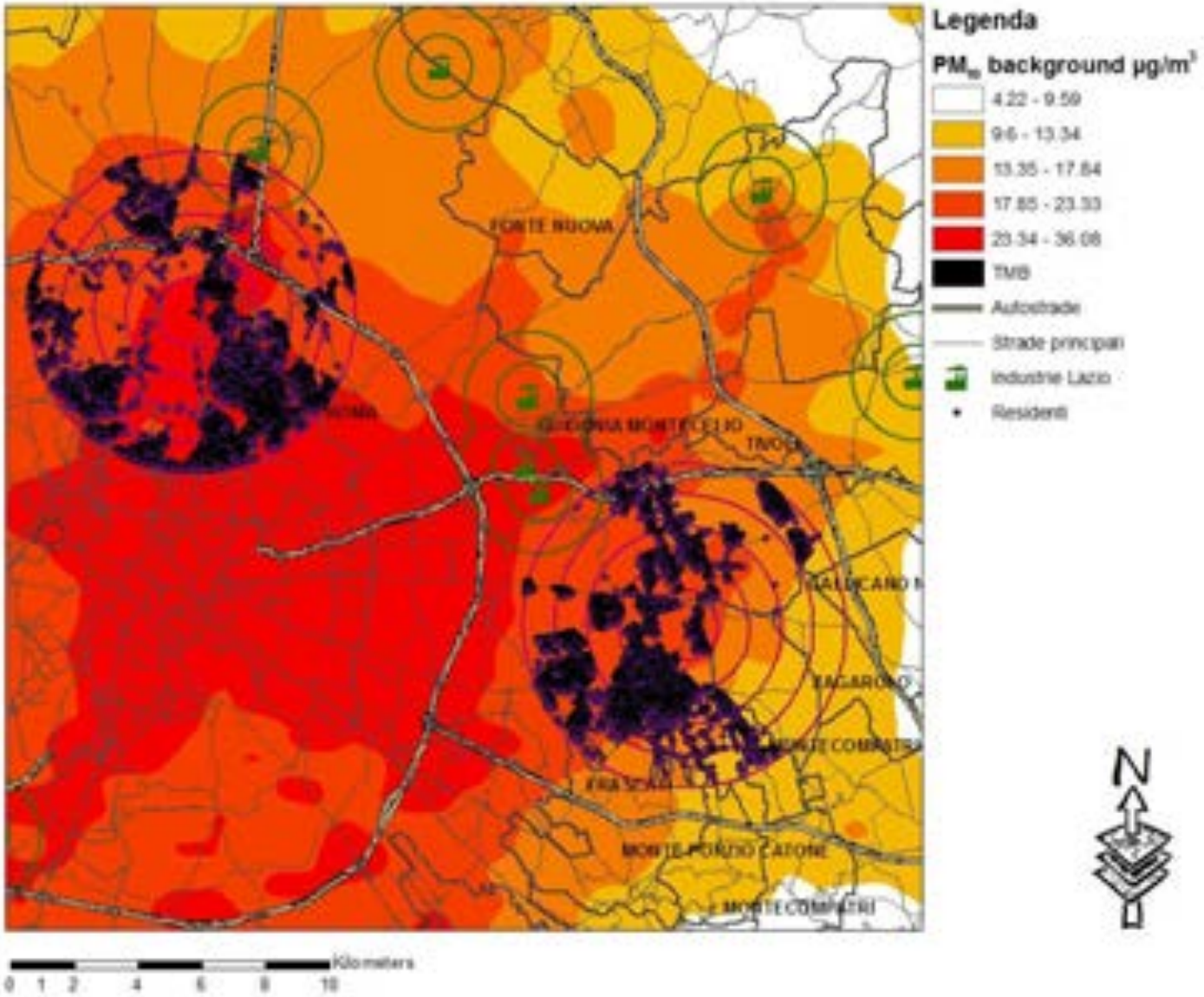


Figura 2. TMB di Rocca Cencia e Roma Salaria. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dagli impianti e zone di ricaduta dell'inquinante "tracciante" rispetto al valore massimo osservato

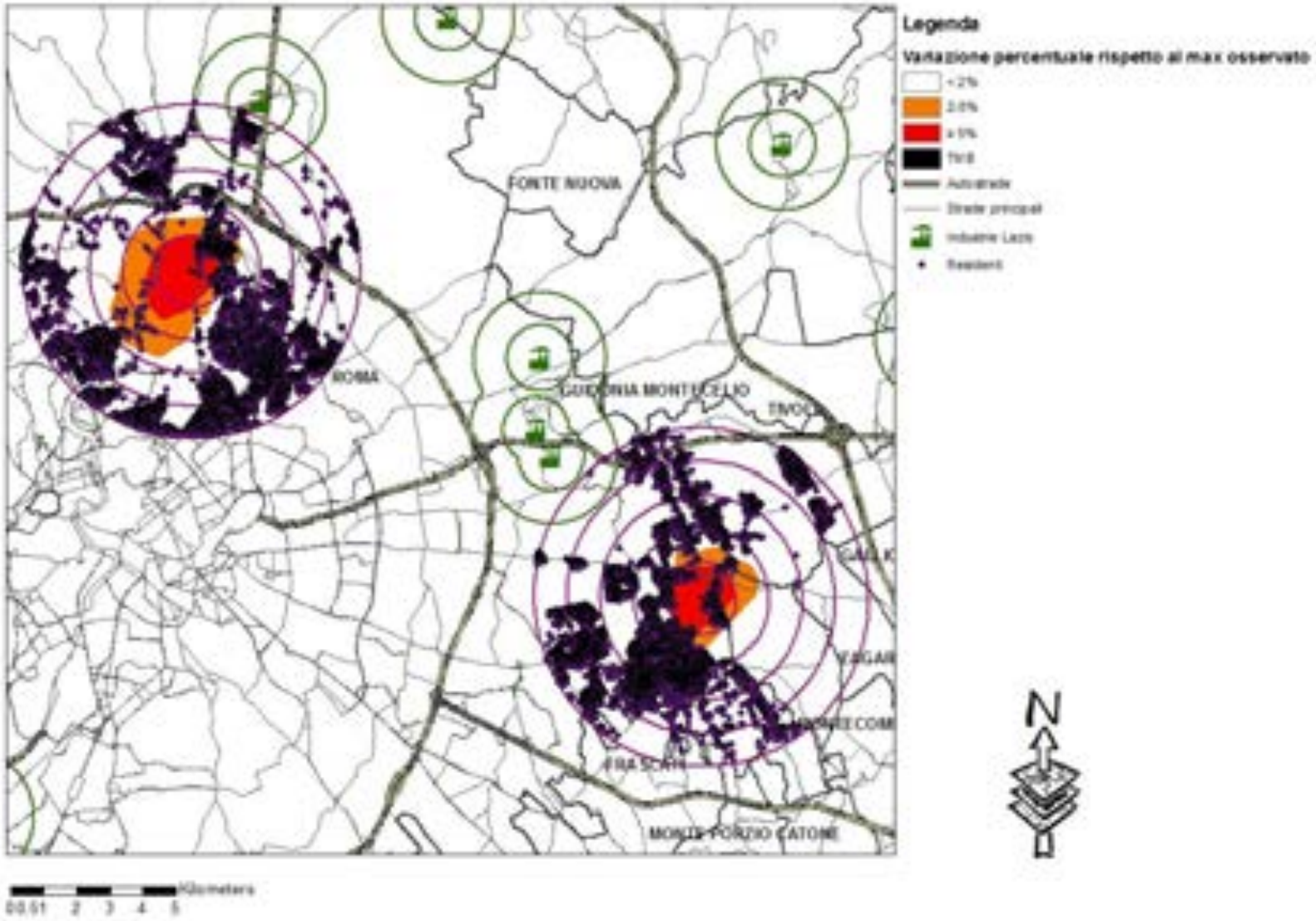


Tabella 1. Caratteristiche descrittive della coorte a seconda del livello di esposizione ad un inquinante "tracciante" delle emissioni degli
impianti

		Variazione percentuale dell'inquinante tracciante rispetto al valore massimo osservato							
		<2%		2-5%		5-36%		Totale	
		n	%	n	%	n	%	n	%
	Totale	265,052	100.0	17,529	100.0	8,933	100.0	291,514	100.0
Sesso	Femmine	142,046	53.6	9,048	51.6	4,587	51.3	155,681	53.4
	Maschi	123,006	46.4	8,481	48.4	4,346	48.7	135,833	46.6
Età	5-14	21,870	8.3	1,800	10.3	869	9.7	24,539	8.4
	15-44	102,467	38.7	7,833	44.7	4,033	45.1	114,333	39.2
	45-64	78,614	29.7	5,200	29.7	2,682	30.0	86,496	29.7
	>65	62,101	23.4	2,696	15.4	1,349	15.1	66,146	22.7
Livello di istruzione	Basso	135,078	51.0	11,107	63.4	6,047	67.7	152,232	52.2
	Medio	87,250	32.9	5,197	29.6	2,497	28.0	94,944	32.6
	Alto	42,724	16.1	1,225	7.0	389	4.4	44,338	15.2
Occupazione	Lavoratori non manuali	69,603	26.3	3,735	21.3	1,751	19.6	75,089	25.8
	Lavoratori manuali	35,138	13.3	3,123	17.8	1,764	19.7	40,025	13.7
	Pensionati	36,472	13.8	1,692	9.7	892	10.0	39,056	13.4
	Disoccupati	48,427	18.3	3,456	19.7	1,698	19.0	53,581	18.4
	Casalinghe	38,824	14.6	2,690	15.3	1,352	15.1	42,866	14.7
	missing	36,588	13.8	2,833	16.2	1,476	16.5	40,897	14.0
Stato Civile	Coniugato	108,119	40.8	7,211	41.1	3,636	40.7	118,966	40.8
	Celibe/Nubile	125,760	47.4	8,846	50.5	4,565	51.1	139,171	47.7
	Separato/Divorziato	13,874	5.2	701	4.0	356	4.0	14,931	5.1
	Vedovo	17,299	6.5	771	4.4	376	4.2	18,446	6.3
Luogo di nascita	Roma	163,279	61.6	10,867	62.0	5,329	59.7	179,475	61.6
	Altro	101,773	38.4	6,662	38.0	36,014	403.2	144,449	49.6
Livello socio-economico	Alto	64,196	24.2	2,146	12.2	722	8.1	67,064	23.0
	Medio-alto	57,694	21.8	1,269	7.2	16	0.2	58,979	20.2
	Medio	38,049	14.4	488	2.8	18	0.2	38,555	13.2
	Medio-basso	36,785	13.9	3,776	21.5	3,759	42.1	44,320	15.2
	Basso	68,328	25.8	9,850	56.2	4,418	49.5	82,596	28.3
Impianto	Rocca Cencia	56,932	21.5	10,789	61.5	2,894	32.4	70,615	24.2
	Salaria	208,120	78.5	6,740	38.5	6,039	67.6	220,899	75.8
Distanza dall'impianto	0 - 1 Km	815	0.3	2,627	15.0	6,345	71.0	9,787	3.4
	1 - 2 Km	26,044	9.8	7,234	41.3	2,588	29.0	35,866	12.3
	2 - 3 Km	57,297	21.6	7,640	43.6	0	0.0	64,937	22.3
	3 - 4 Km	76,605	28.9	28	0.2	0	0.0	76,633	26.3
	4 - 5 Km	104,291	39.3	0	0.0	0	0.0	104,291	35.8
Strade principali	<=150 m	157,561	59.4	8,457	48.2	2,138	23.9	168,156	57.7
	>150 m	107,491	40.6	9,072	51.8	6,795	76.1	123,358	42.3
Autostrade	<=500 m	10,832	4.1	0	0.0	0	0.0	10,832	3.7
	>500 m	254,220	95.9	17,529	100.0	8,933	100.0	280,682	96.3
Industrie	0 - 1 Km	1,384	0.5	0	0.0	0	0.0	1,384	0.5
	1 - 2 Km	1,423	0.5	0	0.0	0	0.0	1,423	0.5
	>2 Km	262,245	98.9	17,529	100.0	8,933	100.0	288,707	99.0
PM_{10} di background	<50° percentile	125,230	47.2	11,158	63.7	3,568	39.9	139,956	48.0
	50°-90° percentile	111,914	42.2	6,366	36.3	5,365	60.1	123,645	42.4
	>90° percentile	27,908	10.5	5	0.0	0	0.0	27,913	9.6
Stato in vita	Vivo	239,454	90.3	15,643	89.2	8,089	90.6	263,186	90.3
	Deceduto	8,828	3.3	505	2.9	183	2.0	9,516	3.3
	Emigrato	16,770	6.3	1,381	7.9	661	7.4	18,812	6.5

Tabella 2. Esposizione all'inquinante "tracciante" generico: Hazard Ratio (HR) di ospedalizzazione e relativi intervalli di confidenza (IC) al 95%

a) Uomini

Variazione percentuale dell'inquinante tracciante rispetto al valore massimo osservato	<2%	2-5%										5-36%										
CAUSA (ICD-9-CM)	n	n	HR[1]	I.C. 95%		HR[2]	I.C. 95%		HR[3]	I.C. 95%		n	HR[1]	I.C. 95%		HR[2]	I.C. 95%		HR[3]	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	21,587	1,521	0.99	0.94	1.04	0.98	0.93	1.04	0.98	0.93	1.04	739	1.07	0.99	1.15	1.02	0.95	1.10	1.02	0.95	1.10
Malattie sistema circolatorio (390-459)	5,200	331	0.93	0.83	1.04	0.92	0.82	1.03	0.93	0.83	1.04	165	1.06	0.90	1.23	0.98	0.84	1.15	0.99	0.84	1.16
Malattie cardiache (390-429)	3,321	215	0.96	0.83	1.11	0.95	0.82	1.09	0.96	0.83	1.10	97	0.98	0.80	1.20	0.90	0.74	1.11	0.91	0.74	1.12
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	1,572	98	0.86	0.70	1.06	0.85	0.69	1.05	0.86	0.69	1.06	53	1.08	0.82	1.42	0.99	0.75	1.30	1.00	0.75	1.32
Malattie cerebrovascolari (430-438)	1,020	74	1.11	0.86	1.41	1.10	0.86	1.40	1.11	0.87	1.41	33	1.16	0.82	1.64	1.02	0.71	1.45	1.02	0.71	1.46
Malattie apparato respiratorio (460-519)	1,821	162	1.13	0.96	1.34	1.12	0.94	1.32	1.11	0.94	1.31	72	1.20	0.95	1.52	1.08	0.85	1.37	1.06	0.83	1.35
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	485	41	1.15	0.82	1.60	1.12	0.81	1.56	1.12	0.81	1.57	17	1.16	0.72	1.89	0.99	0.60	1.62	1.00	0.61	1.65
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492;494;496)	172	16	1.09	0.64	1.86	1.07	0.63	1.82	1.07	0.63	1.82	6	1.17	0.52	2.65	0.85	0.37	1.93	0.78	0.34	1.78
Asma (493)	22	1	0.50	-	-	0.50	-	-	0.55	-	-	1	1.19	-	-	1.98	-	-	2.35	-	-

[1]Modello grezzo

[2]Modello aggiustato per caratteristiche individuali (livello socio-economico, livello di istruzione, occupazione, stato civile, luogo di nascita)

[3]Modello aggiustato per caratteristiche individuali e ambientali (PM_{10} di qualità dell'aria, residenza in prossimità di strade, autostrade e industrie)

b) Donne

Variazione percentuale dell'inquinante tracciante rispetto al valore massimo osservato	<2%	2-5%										5-36%									
CAUSA (ICD-9-CM)	n	n	HR[1]	I.C. 95%		HR[2]	I.C. 95%		HR[3]	I.C. 95%		n	HR[1]	I.C. 95%		HR[2]	I.C. 95%		HR[3]	I.C. 95%	
Cause naturali (001-629;677-799)	24,622	1,580	0.98	0.93	1.03	0.97	0.92	1.02	0.97	0.92	1.03	754	1.03	0.96	1.11	0.98	0.91	1.05	0.97	0.90	1.05
Malattie sistema circolatorio (390-459)	4,199	226	0.96	0.84	1.11	0.95	0.82	1.09	0.95	0.83	1.09	117	1.18	0.98	1.42	1.03	0.85	1.24	1.03	0.85	1.24
Malattie cardiache (390-429)	2,541	144	1.02	0.86	1.22	1.00	0.84	1.19	1.01	0.85	1.20	70	1.19	0.94	1.51	1.02	0.80	1.31	1.02	0.80	1.31
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	662	44	1.12	0.82	1.54	1.09	0.80	1.50	1.10	0.80	1.51	25	**1.51**	**1.01**	**2.25**	1.27	0.84	1.91	1.29	0.85	1.95
Malattie cerebrovascolari (430-438)	1,101	52	0.89	0.67	1.19	0.87	0.65	1.16	0.87	0.66	1.17	35	**1.45**	**1.04**	**2.04**	1.20	0.85	1.70	1.21	0.85	1.71
Malattie apparato respiratorio (460-519)	1,660	114	1.07	0.88	1.30	1.06	0.87	1.29	1.06	0.87	1.29	47	0.99	0.74	1.32	0.93	0.69	1.24	0.93	0.69	1.25
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466,480-487)	414	25	1.03	0.68	1.57	1.03	0.68	1.56	1.03	0.68	1.57	8	0.75	0.37	1.51	0.70	0.34	1.42	0.69	0.34	1.40
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492;494;496)	184	15	1.38	0.80	2.40	1.35	0.78	2.34	1.32	0.76	2.28	4	0.94	0.35	2.55	0.74	0.27	2.03	0.73	0.26	2.00
Asma (493)	26	2	0.82	-	-	0.77	-	-	0.80	-	-	1	1.08	-	-	0.89	-	-	0.94	-	-

[1]Modello grezzo

[2]Modello aggiustato per caratteristiche individuali (livello socio-economico, livello di istruzione, occupazione, stato civile, luogo di nascita)

[3]Modello aggiustato per caratteristiche individuali e ambientali (PM_{10} di qualità dell'aria, residenza in prossimità di strade, autostrade e industrie)

LA SALUTE RIPRODUTTIVA DELLE DONNE RESIDENTI NEI PRESSI DEI TERMOVALORIZZATORI E DELLE DISCARICHE PER I RIFIUTI URBANI DEL LAZIO

RIASSUNTO

INTRODUZIONE. La gestione dei rifiuti può avere un impatto sull'ambiente e sulla salute della popolazione esposta, tuttavia c'è ancora molta incertezza sui possibili effetti sanitari. Gli esiti riguardanti la gravidanza e la nascita sono tra i più studiati perché possibile espressione di un effetto a breve termine dell'esposizione alle emissioni di discariche e termovalorizzatori.

OBIETTIVO. L'obiettivo dello studio è valutare l'associazione tra l'esposizione agli inquinanti emessi dalle otto discariche del Lazio dai due termovalorizzatori per rifiuti ed alcuni esiti avversi della gravidanza.

METODI. La popolazione oggetto di studio comprende i nati, tra il 2001 ed il 2010, da madri residenti durante il primo trimestre di gravidanza nei comuni che rientrano in un raggio di 5 Km dalle discariche, 5 km dal termovalorizzatore di San Vittore del Lazio, e 7 Km da quello di Colleferro. Attraverso la procedura di georeferenziazione degli indirizzi forniti dalle anagrafi dei comuni interessati, è stato possibile attribuire ad ogni donna in gravidanza i valori di concentrazione dell'H_2S emesso dalle discariche e del PM_{10} emesso dai termovalorizzatori ottenuti da modelli di dispersione eseguiti da ARPA Lazio. L'associazione tra le diverse esposizioni e gli esiti riproduttivi (rapporto tra i sessi, nati pretermine, basso peso alla nascita, basso peso alla nascita tra i nati a termine, piccoli per età gestazionale, gemellarità, malformazioni congenite compatibili con la vita) è stata studiata mediante un modello di regressione logistica multivariato, aggiustando per fattori demografici ed ambientali. Nella valutazione relativa ai termovalorizzatori, lo studio utilizza un disegno pre/post: nel modello è stato inserito un termine di interazione tra l'esposizione al PM_{10} derivante dagli impianti ed una variabile che distingue le nascite prima e dopo l'attivazione dei termovalorizzatori nel 2002.

RISULTATI. I soggetti in studio sono 16,847 e 2,056, nati da madri residenti nelle aree interessate rispettivamente dalle otto discariche e dai due termovalorizzatori durante il primo trimestre di gravidanza nel periodo 2001-2010.I risultati non mostrano alcuna relazione con l'inquinamento prodotto dalle discariche e con il PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori per nessuno degli esiti considerati.

CONCLUSIONI. I risultati di questo studio mostrano che i nati da madri residenti nei pressi delle otto discariche e dei termovalorizzatori di Colleferro e San Vittore del Lazio non presentano particolari effetti avversi dovuti alle esposizioni considerate.

INTRODUZIONE

La gestione dei rifiuti (la produzione, la raccolta, la trasformazione, il trasporto e lo smaltimento) può avere un impatto sull'ambiente e sulla salute e rappresenta spesso una preoccupazione per la popolazione interessata. Tuttavia, nonostante siano numerosi gli studi pubblicati epidemiologici sulle popolazioni che vivono in prossimità delle discariche e dei termovalorizzatori/inceneritori, c'è ancora molta incertezza scientifica sui possibili effetti sanitari della gestione dei rifiuti. Tra gli esiti messi in relazione all'esposizione alle discariche e ai termovalorizzatori, quelli riguardanti la gravidanza e la nascita sono tra i più studiati perché possibile espressione di un effetto a breve termine.

Il presente studio intende valutare:

- la salute riproduttiva delle donne residenti intorno ai termovalorizzatori di Colleferro e di San Vittore, impianti di incenerimento ad alta temperatura, entrati in esercizio alla fine del 2002, finalizzati alla produzione di energia elettrica il cui combustibile è costituito dal combustibile derivato da rifiuti urbani (CDR);
- la salute riproduttiva delle donne residenti intorno alle discariche per rifiuti solidi urbani (RSU) presenti nel Lazio nei comuni di Albano, Bracciano, Latina, Civitavecchia, Guidonia, Viterbo, Roccasecca e Colleferro.

L'obiettivo dello studio è valutare l'associazione tra l'esposizione agli inquinanti emessi dagli impianti in studio e alcuni eventi avversi della gravidanza: rapporto tra i sessi alla nascita, nascite gemellari, nascite pretermine, piccoli per età gestazionale, basso peso alla nascita e basso peso alla nascita nei nati a termine, malformazioni congenite. Nel caso dei termovalorizzatori, si vogliono verificare due ipotesi: innanzitutto se gli esiti di gravidanza delle donne residenti nelle aree in studio siano in qualche modo associati all'inquinamento di fondo del territorio provocato dalle molteplici fonti; in secondo luogo, si vuole verificare se l'avvio delle attività (nel 2002) dei due termovalorizzatori abbia costituito un ulteriore fattore di rischio riproduttivo per la popolazione esposta agli inquinanti prodotti dagli impianti.

METODI

Caratteristiche degli impianti in studio

Termovalorizzatori

Il termovalorizzatore di Colleferro occupa una superficie di circa 30,000 mq ed è costituito da due linee di trattamento: la prima linea è stata attivata nel mese di Dicembre 2002, la seconda è operativa da Giugno del 2003. Ciascuna delle due linee è autorizzata allo smaltimento di 110,000 t/anno di CDR, corrispondenti ad una quantità massima giornaliera di circa 334 t/giorno. Nel 2009 l'impianto di Colleferro è stato sequestrato per diversi mesi dal Nucleo Operativo Ecologico dei Carabinieri di Roma per numerosi reati, tra cui attività organizzata per traffico illecito di rifiuti, violazione dei valori limiti delle emissioni in atmosfera, combustione di pneumatici.

Il termovalorizzatore di San Vittore del Lazio si estende su una superficie di 50,422 mq. Attualmente l'impianto è dotato di una sola linea di esercizio, con la realizzazione prevista di due nuove linee, la superficie dell'impianto occuperà un'area di 78,249 mq. Attivato nell'Agosto del 2002, il termovalorizzatore è autorizzato alla combustione di 304,150 t annue.

Discariche

Nel Lazio sono attualmente presenti dieci discariche per il trattamento dei RSU, 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.

Tutte le discariche sono attive da decine di anni, anche se le autorizzazioni all'esercizio possono essere più recenti. Per le caratteristiche degli impianti di trattamento considerati si rimanda alla relazione "Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione residente nei pressi delle discariche per i rifiuti urbani del Lazio".

Area in studio

L'area in studio comprende i comuni che rientrano in un raggio di 5 Km dal perimetro dei termovalorizzatori di San Vittore del Lazio e di 7 Km da quello di Colleferro. Per lo studio sulle discariche sono compresi i comuni che rientrano in un raggio di 5 Km dal

perimetro delle discariche.I perimetri degli impianti sono stati geocodificati utilizzando il software GIS (Geographic Information System).

Popolazione in studio

Le anagrafi dei comuni interessati hanno fornito l'elenco delle donne residenti al 1 Gennaio 1996, o successivamente entrate fino al 31 Dicembre 2008, le relative date di nascita, di morte, di emigrazione ed immigrazione nel comune e l'indirizzo di residenza. Gli indirizzi di residenza sono stati geocodificati. Tramite una procedura di record linkage con l'archivio dei Certificati di Assistenza al Parto (CedAP), che registra tutte le nascite avvenute nella regione Lazio a partire dal 2001, sono stati selezionati tutti i bambini nati nel periodo 01/01/2001-31/12/2008 da madri residenti nell'area in studio durante il primo trimestre di gravidanza. Diversamente, a causa dell'indisponibilità di informazioni sulla residenza delle donne negli anni 2009 e 2010, i nati nel periodo 01/01/2009-31/12/2010 sono stati selezionati tramite linkage delle donne residenti nell'area al 31/12/2008 con le nascite registrate nel CedAP. Pertanto, si è assunto che le donne residenti nell'area al 31/12/2008 lo fossero anche durante il primo trimestre delle gravidanze portate a termine negli anni 2009 e 2010.

Dal CedAP è stato possibile ricavare le informazioni relative alla madre, alla gravidanza e al parto. L'archivio non dispone della mobilità extra-regionale per cui lo studio non comprende i nati fuori dalla regione Lazio da madri residenti nell'area di interesse.

Definizione degli esiti

Sono stati analizzati i seguenti eventi avversi alla gravidanza:

- rapporto tra i sessi:rapporto tra il numero di nati maschi ed il numero totale di nati;
- nati pretermine: nati con età gestazionale <37 settimane, escludendo i gemelli;
- basso peso alla nascita: nati con peso <2500gr, escludendo i gemelli solo nello studio sulle discariche;
- basso peso alla nascita a termine: nati a termine con peso <2500gr, escludendo i gemelli ed i nati pretermine;
- piccoli per età gestazionale: neonati di peso in grammi inferiore o uguale al 10° percentile previsto per la settimana di gravidanza alla nascita e per sesso del neonato. Non sono disponibili curve di accrescimento italiane o europee

affidabili, pertanto, come riferimento, è stato utilizzato il 10° percentile della distribuzione del peso dei nati nella regione Lazio per il periodo considerato, per sesso e settimana di gravidanza. Sono stati esclusi i gemelli ed i nati da madri provenienti dalla regione indiana, costituzionalmente piccoli [1-5];

- gemellarità: numero di parti gemellari.
- malformazioni congenite compatibili con la vita: Cartelle CEDAP con menzione di uno di questi codici ICD-9-CM: 741; 742.0; 742.3; 745; 746; 749.0; 749.1; 749.2; 750.3; 751.1; 751.2; 752.7; 753.1-753.9; 756.0; 756.4; 756.5; 756.6; 756.70; 756.71; 758.0; 758.3; 758.5; 759.7; 759.8

Caratteristiche materne

Dagli archivi anagrafici e dall'archivio del CedAP è stato possibile ottenere diverse informazioni relative alla madre; tra queste sono state selezionate tutte quelle potenzialmente correlate agli eventi in studio: età, nazionalità (italiana/straniera), titolo di studio (nessun titolo/licenza elementare/licenza media inferiore vs licenza media superiore/laurea), numero di parti precedentie status socio-economico (alto, medio-alto, medio, medio-basso, basso). Tale indicatore è disponibile per tutte le sezioni di censimento del Lazio ed è stato costruito sulla base di variabili raccolte al censimento 2001 [6]. Non è stato possibile utilizzare le informazioni sullo stato civile e sull'occupazione materna, pur presenti nel CedAP, a causa dell'elevato numero di dati mancanti.

Caratteristiche ambientali

La procedura di geocodifica degli indirizzi ha permesso di caratterizzare le aree in studio considerando diverse informazioni:

- residenza entro un buffer di 150 m da strade principali, definite sulla base delle informazioni presenti nel database della società TeleAtlas;
- residenza entro un buffer di 1 Km dal fiume Sacco, interessato da una vasta contaminazione di beta-esaclorocicloesano a seguito del sotterramento di fusti di rifiuti provenienti dall'impianto chimico della zona;
- per l'analisi delle donne residenti nei pressi dei termovalorizzatori si è tenuto anche conto della residenza a Colleferro Scalo, frazione del comune di Colleferro situata molto vicino al conglomerato industriale che include l'impianto chimico di produzione del lindano attivo dagli anni '60.

Esposizioni

Termovalorizzatori

L'esposizione al PM_{10} di fondo, derivante dall'inquinamento stradale, industriale, e civile è stato stimato su base regionale(http://www.arpalazio.net/main/aria/sci/#) ed ha permesso di assegnare la concentrazione media annua di questo inquinante ad ogni soggetto in studio per ottenere dati di esposizione. Il modello sviluppato da ARPA ha utilizzato il censimento delle emissioni del 2005 e si basa sulla integrazione delle catene modellistiche RAMS e FARM ed ha una risoluzione di 4*4 Km.

Il modello lagrangiano a particelle SPRAY ver.5 (Arianet srl, Milano, Italia) è stato utilizzato per simulare l'impatto dei termovalorizzatori sull'area in studio. Il modello simula il trasporto, la dispersione e la ricaduta degli inquinanti emessi su terreni complessi e con la presenza di ostacoli, seguendo il percorso di particelle fittizie nel flusso turbolento dell'atmosfera. Per stimare la dispersione delle concentrazioni del PM_{10}, scelto come inquinante tracciante, sono stati utilizzati: l'orografia del territorio, i dati meteorologici mensili (in particolare le componenti del vento e della temperatura), le caratteristiche della turbolenza della bassa atmosfera e la distribuzione oraria spaziale (orizzontale e verticale) delle emissioni inquinanti. Il modello restituisce la mappa delle concentrazioni al suolo relative all'inquinante emesso dall'impianto, utilizzando una risoluzione di 500mx500m.

Allo stesso modo è stata simulata la dispersione del PM_{10} prodotto dal cementificio. Per ulteriori dettagli sul modello di dispersione si rimanda alla relazione tecnica di ARPA Lazio.

Ad ogni nato sono stati attribuiti i valori di concentrazione del PM_{10} di *background*, termovalorizzatori, e cementificio sulla base dell'indirizzo di residenza della madre. Le anagrafi non hanno fornito tutti gli indirizzi relativi alle variazioni di residenza all'interno dello stesso comune, quindi è stato assunto che l'indirizzo di residenza della madre, durante il primo trimestre della gravidanza, fosse quello registrato per il figlio al momento della nascita.

Nella tabella che segue si riportano le statistiche descrittive (media, deviazione standard (DS), 25°, 50°, 75°, 90° percentile e range interquartile, differenza tra il 75°

e il 25° percentile) (riferite ai soggetti della coorte) del PM_{10} prodotto dalle diverse fonti:

	media	DS	p25	p50	p75	p90	p75-p25
PM_{10} di background µg/m^3	9.73	1.66	8.00	9.82	10.86	12.03	2.86
PM_{10} termovalorizzatore ng/m^3	2.99	1.04	2.20	3.30	3.80	4.00	1.60
PM_{10} cementificio ng/m^3	62.65	23.17	49.88	72.42	81.60	84.08	31.72

È importante osservare come il contributo espositivo del PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori (2.99ng/m^3) sia molto inferiore a quello del PM_{10} prodotto dal cementificio (62.65 ng/m^3) e a quello del PM_{10} di *background* (9.73µg/m^3). In ogni caso, per i soggetti della coorte, vi è una alta correlazione tra gli indicatori stessi ($r_{term/cem}$=0.76; $r_{term/back}$=0.65; $r_{back/cem}$=0.61).

L'esposizione aPM_{10} di *background* è stata considerata come variabile categorica:

- bassa (0-50° percentile): 0<=PM_{10}<=9.82 µg/m^3(*gruppo di riferimento)*;
- media (50°-90° percentile): 9.82µg/m^3<PM_{10}<=12.03µg/m^3;
- alta (>90° percentile): PM_{10}>12.03 µg/m^3.

A tutti gli indirizzi di residenza delle mamme dei nati in studio, anche per quelli nati nel periodo precedente l'attivazione degli impianti, è stato attribuito un valore di PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori:

- bassa esposizione (0-50° percentile): 0<PM_{10}<=0.0033 µg/m^3 (*gruppo di riferimento)*;
- media esposizione (50°-83° percentile): 0.0033 µg/m^3<PM_{10}<=0.004 µg/m^3;
- alta esposizione (>83° percentile): PM_{10}>0.004 µg/m^3.

L'esposizione al cementificio è stata classificata nel seguente modo:

- bassa (0-50° percentile): 0<=PM_{10}<=0.072418 µg/m^3(*gruppo di riferimento);*
- media (50°-90° percentile): 0.072418 µg/m^3<PM_{10}<=0.084077 µg/m^3;

- alta (>90° percentile): PM_{10}>0.084077μg/m^3.

Il cementificio in studio si trova nel comune di Colleferro, pertanto tutti i nati nel comune di San Vittore fanno parte del gruppo di riferimento.

Discariche

La valutazione dell'esposizione della popolazione residente è stata effettuata considerandole emissioni areali delle discariche espresse in termini di idrogeno solforato, o acido solfidrico (H_2S), generate utilizzando il Landfill Gas Emissions (LGE) Model (sviluppato dalla US Environmental Protection Agency) 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 informazione 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 LGE 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.

Nella tabella che segue si riportano le statistiche descrittive (media, deviazione standard (DS), 25°, 50°, 75°, 90° percentile e range interquartile, differenza tra il 75° e il 25° percentile) (riferite ai soggetti della coorte) dell'H_2S emesso dalle discariche e del PM_{10} di fondo:

	media	DS	p25	p50	p75	p80	p90	p75-p25
H_2S ng/m^3	3.76	13.00	0.77	1.95	3.86	4.18	6.98	3.09
PM_{10} di background μg/m3	12.24	3.80	8.39	11.98	14.86	15.61	17.69	6.47

A tutti gli indirizzi di residenza delle mamme dei nati in studio è stato attribuito un valore di H_2S prodotto dalle discariche e l'esposizione è stata classificata nel seguente modo:

- bassa esposizione (0-50° percentile): $0<PM_{10}<1.95ng/m^3$ (*gruppo di riferimento)*;
- media esposizione (50°-90° percentile): $1.95ng/m^3<=PM_{10}<=6.98ng/m^3$;
- alta esposizione (>90° percentile): $PM_{10}>6.98ng/m^3$.

L'esposizione aPM_{10} di *background* è stata considerata come variabile categorica:

- bassa (0-50° percentile): $0<=PM_{10}<11.98\mu g/m^3$(*gruppo di riferimento)*;
- media (50°-90° percentile): $11.98\mu g/m^3<=PM_{10}<=17.69\mu g/m^3$;
- alta (>90° percentile): $PM_{10}>17.69\mu g/m^3$.

Analisi statistica

Sono state eseguite analisi descrittive dell'occorrenza degli esiti in studio in relazione alle concentrazioni di PM_{10} e H_2S emessedagli impianti, alle caratteristiche materne e alle caratteristiche ambientali dell'areain studio.

Gli odds ratio (OR, IC 95%) dell'associazione tra le esposizioni a PM_{10} e gli esiti in studio sono stati calcolati mediante un modello di regressione logistica multivariato. Nella valutazione pre/post relativo ai termovalorizzatori, nel modello è stato inserito un termine di interazione tra il PM_{10} prodotto dagli impianti di termovalorizzazione e una variabile (pre-post) che distingue i nati avvenuti prima del 2003, quando gli impianti non erano ancora stati messi in funzione, da quelli avvenuti dopo l'attivazione di entrambi. In questo modo è stato possibile valutare il cambiamento (post verso pre) nella frequenza degli esiti di gravidanza nelle aree più esposte alle emissioni dei termovalorizzatori tenendo conto anche del trend temporale nelle aree non esposte [7-8].

A causa della collinearità tra le variabili espressione delle concentrazioni delle diverse fonti di emissione del PM_{10} (termovalorizzatori, cementificio, inquinamento atmosferico) (Tabella 3), i modelli di regressione logistica sono stati eseguiti separatamente per le tre esposizioni; nel modello logistico che ha valutato l'effetto del PM_{10} prodotto dal cementificio e di quello di *background* si è tenuto conto del concomitante effetto del PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori.

Tutti i modelli hanno tenuto conto di diversi fattori confondenti: sesso del bambino, impianto (discariche o termovalorizzatori),variabili riferite alle caratteristiche della madre (numero di parti precedenti, età, nazionalità, titolo di studio, livello socio-economico) e altri fattori ambientali (distanza da strade ad alto traffico, residenza nell'area di Colleferro Scalo, distanza dal fiume Sacco).

RISULTATI

Termovalorizzatori

I soggetti in studio sono 2,056 nati da madri residenti nell'area in studio durante il primo trimestre di gravidanza nel 2001-2010. I bambini sono nati da 1,641 madri, il 76% delle quali tra il 2001 ed il 2010 ha avuto un solo figlio mentre il 22% ne ha avuti due. 540 bambini sono nati nel periodo precedente l'attivazione dei termovalorizzatori. Il 69% dei bambini è nato da madri di età compresa tra 21 e 34 anni e il 55% dei bambini è un primogenito (Tabella 1). Il 94% dei bambini è nato da madre italiana (tra le straniere soltanto una è proveniente dalla regione indiana) e il 63% ha un livello socio-economico medio o medio-alto. Per un quarto dei nati inclusi nella coorte, i primi tre mesi di gravidanza della madre sono intercorsi prima della messa in funzione dell'impianto; il 17% dei nati risiedono o hanno madri che hanno risieduto nella zona molto esposta. Il 94% dei nati in analisi sono residenti nel buffer di 5 Km del termovalorizzatore di Colleferro. I livelli di esposizione alle emissioni degli impianti di Colleferro (1,925 nati) e San Vittore (131 nati) sono di ordine di grandezza diversi, pertanto la totalità dei nati in prossimità del secondo sito sono poco o non esposti: i nati nel buffer di 7 Km dal termovalorizzatore di Colleferro sono esposti mediamente a 9.9 $\mu g/m^3$ (DS=1.6) di PM_{10} mentre i nati nel buffer di 5 Km dall'impianto di San Vittore del Lazio a 7.1 $\mu g/m^3$ (DS=0.2). L'11% dei nati risiedono a meno di 1 Km dal fiume Sacco, il 2% nell'area di Colleferro Scalo e quasi la metà a meno di 150 m da strade principali. Tra i nati residenti nell'area maggiormente esposta ai termovalorizzatori non ce n'è nessuno contemporaneamente esposto anche ad alti livelli di PM_{10} di *background* e solo un 3% è anche esposto al cementificio di Colleferro. Al contrario, nell'area caratterizzata da una media esposizione ai termovalorizzatori si registrano livelli elevati di esposizione al PM_{10} di *background* (32%) e a quello prodotto dal cementificio (28%).

Nella Tabella 2 è riportata la distribuzione degli esiti per categoria di esposizione ai termovalorizzatori e periodo, *pre*- (2001-2002) e *post*-inizio della loro attività *(*2003-2010). Nel periodo considerato, si sono verificati 29 parti gemellari, di cui solo due relativi a donne residenti in zone associate ad alta concentrazione di PM_{10}, pertanto non si è ritenuto opportuno considerare tra gli esiti in studio anche la gemellarità. I bambini appartenenti alla coorte dei nati oggetto dello studio, erano per il 51.4% maschi, con un rapporto tra sessi alla nascita simile a quello che si riscontra nella popolazione generale (105-106 maschi ogni 100 femmine). Come atteso, gli esiti nascite pre-termine (116), nati di basso peso (135), nati a termine di basso peso (49), piccoli per età gestazionale (213) non sono eventi frequenti. La frequenza di nascite con basso peso, di nascita pretermine e di piccoli per età gestazionale è diminuita nel complesso delle aree tra il periodo pre e post termovalorizzatore.

Nella Tabella 4 sono riportate le stime dell'effetto (Odds Ratio) dell'esposizione ai livelli di inquinamento atmosferico (PM_{10}*background*) sugli esiti oggetto dello studio. Il rapporto tra i sessi alla nascita nelle categorie a maggiore esposizione non si discosta da quello riscontrato nel gruppo di riferimento. Anche per gli altri esiti in studio non si evidenziano aumenti di rischio associati ai livelli di PM_{10} di *background*. Al contrario, tra i nati maggiormente esposti si osserva una riduzione del rischio di basso peso alla nascita tra i nati a termine (OR=0.19 IC 95% 0.05-0.81), tuttavia l'effetto stimato è basato solo su 3 casi. Risultati molto simili si sono osservati per il cementificio di Colleferro (Tabella 5).

Gli esiti riproduttivi presi in esame non sembrano avere alcuna associazione con l'introduzione di una nuova esposizione quale il PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori (Tabella 6). Tutti gli Odds Ratio sono vicini alla unità (o addirittura più bassi) e tutti con ampi limiti di confidenza.

Discariche

Sono in studio 16,847 nati da madri residenti nell'area in studio durante il primo trimestre di gravidanza nel 2001-2010. Il 71.1% dei bambini è nato da madri di età compresa tra 21 e 34 anni e il 56.1% dei bambini è un primogenito (Tabella 7). L'88.8% dei bambini è nato da madre italiana e circa il 30% ha un livello socio-economico medio o medio-alto. Solo il 2% dei nati nel periodo in studio risiedono o

hanno madri che hanno risieduto nella zona ad alte concentrazione di H_2S e di questi 1,684 bambini, il 17.2% risiede intorno alla discarica di Albano, il 18.1% alla discarica di Latina e il 58% risiede intorno alla discarica di Guidonia.

Tra i nati residenti nell'area maggiormente esposta la maggior parte (71.2%) risiede a più di 150m da strade principali. I livelli di esposizione ad elevate concentrazioni di PM_{10} di *background* sembrano essere maggiori nelle zone a media e alta concentrazione di H_2S (18.8 e 19.2%) rispetto al riferimento (0.5%).

Nella Tabella 8 è riportata la distribuzione degli esiti per categoria di esposizione all'H_2S emesso dalle discariche. I nati oggetto dello studio, erano per il 51.2% maschi, con un rapporto tra sessi alla nascita simile a quello che si riscontra nella popolazione generale (105-106 maschi ogni 100 femmine). In questa coorte sono stati osservati 954 nati pre-termine, 817 nati di basso peso, 378 nati a termine di basso peso, 1,693 piccoli per età gestazionale, 510 parti gemellari e 417 malformazioni congenite compatibili con la vita. Non si osservano particolari associazioni grezze tra questi esiti e i livelli di esposizione ad H_2S ad eccezione di un leggero aumento dei parti gemellari nelle zone ad alte concentrazioni (3.2% vs 2.6 del riferimento).

Nella Tabella 9 sono riportate le stime dell'effetto (Odds Ratio) dell'esposizione ai livelli di H_2S sugli esiti oggetto dello studio. Per tutti gli esiti in studio non si evidenziano aumenti di rischio associati ai livelli di esposizione ad H_2S.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

I risultati di questo studio mostrano che i nati da madri residenti nei pressi dei termovalorizzatori e delle discariche per rifiuti urbani del Lazio non presentano particolari effetti avversi dovuti alle esposizioni considerate (PM_{10} dai termovalorizzatori e H_2S dalle discariche).

Per l'interpretazione dei risultati dello studio è importante prendere in rassegna i dati della letteratura. Tra gli eventi avversi alla gravidanza, quello più studiato in relazione ad una esposizione residenziale a inceneritori, è costituito dalle malformazioni congenite. Diversi studi evidenziano un rischio di malformazioni congenite in eccesso

tra le persone che vivono vicino a inceneritori,ma l'evidenza complessiva può essere considerata limitata [9]. Jansson et al. [10]hanno valutato se l'incidenza di labbro leporino e palatoschisi in Svezia fosse aumentata a seguito dell'inizio di attività di un impianto di incenerimento di rifiuti. I risultati di questo studio, basato sulle informazioni del registro centrale delle malformazioni e del registro delle nascite, non hanno mostrato un aumento del rischio.

Lloyd et al.[11] hanno esaminato l'incidenza di parti gemellari tra il 1975 e il 1983 in due aree in prossimità di un termovalorizzatore chimico e di rifiuti urbani in Scozia: dopo l'aggiustamento per età materna, è stato rilevato un aumento della frequenza dei parti gemellari in aree esposte a inquinamento atmosferico provocato dai termovalorizzatori. Nella stessa area, Williams et al.[12]hanno studiato il rapporto tra i sessi alla nascita, grazie a vari livelli di dettaglio geografico e utilizzando tecniche di mappatura tridimensionali: le analisi nelle aree residenziali a rischio di inquinamento atmosferico da termovalorizzatori hanno mostrato la presenza di un'inversione del rapporto tra i sessi in alcune aree. Per studiare il rischio di natimortalità, mortalità neonatale e anomalie congenite letali nei nati da madri che risiedono vicino ai inceneritori (e forni crematori), Dummer et al. [13] hanno condotto uno studio geografico in Cumbria (Gran Bretagna). Dopo l'aggiustamento per classe sociale, anno di nascita, ordine di nascita e nascite multiple, è stato riscontrato un aumento del rischio di morte per anomalie congenite, in particolare la spina bifida e i difetti cardiaci. Successivamente, Cordier et al. [14]hanno preso in esame comunità con meno di 50.000 abitanti che circondano i 70 inceneritori che hanno operato per almeno un anno dal 1988 al 1997 in Francia. Ad ogni comunità è stata assegnata la concentrazione di inquinanti, stimata da modello gaussiano, per il numero di anni in cui l'impianto era operativo. I risultati sono stati aggiustati per anno di nascita, età materna, luogo di nascita, densità di popolazione, reddito familiare medio e, quando disponibile, traffico stradale locale. Il tasso di anomalie congenite era simile nelle comunità degli esposti e dei non esposti; solo alcuni sottogruppi di anomalie congenite, in particolare schisi facciale e displasia renale, erano più frequenti nelle comunità esposte.Tango et al. [15] hanno indagato l'associazione tra gli eventi avversi alla gravidanza e la residenza delle madri entro 10 km da uno dei 63 inceneritori di rifiuti solidi urbani con emissioni di alti livelli di diossina in Giappone. Per calcolare il numero di casi attesi, sono stati utilizzati i tassi nazionali basati su tutti i nati vivi, le morti fetali e le morti infantili che si sono verificati nell'area di studio nel corso del

1997 e 1998,considerando i diversi fattori di confondimento disponibili: età materna, età gestazionale, peso alla nascita, parti precedenti, precedenti morti fetali, e tipo di occupazione paterna. Nessuno degli esiti riproduttivi studiati ha mostrato eccessi statisticamente significativi a meno di 2 kmdi distanza dagli inceneritori. E' stata riscontrata, tuttavia, una diminuzione statisticamente significativa del rischio di mortalità infantile e morti infantili con anomalie congenite all'aumentare della distanza dai termovalorizzatori.

Per quanto riguarda gli altri esiti riproduttivi, Xu et al. [16] hanno esplorato l'associazione tra basso peso alla nascita ed esposizione a particolato (PM_{10}) durante la gravidanza, a Pittsburgh (USA), concludendo che c'è un aumento di 1.13 (IC95%=1.02-1.25) eventi avversi per aumento del range interquartile del PM_{10}. Brauer et al. [17] hanno studiato l'impatto dell'esposizione a particolato sui piccoli per età gestazionale, basso peso alla nascita, e nascite pre-termine utilizzando i dati sanitari delle nascite, escludendo i parti gemellari, avvenute tra il 1999 ed il 2002 a Vancouver (Canada) ed hanno concluso che il particolato ultrafine è un fattore di rischio per piccoli per età gestazionale e nascite pre-termine. Uno studio multicentrico prospettico condotto in Corea dal2001 al 2004 ha analizzato gli effetti dell'esposizione a PM_{10}nelle varie fasi della gestazione. [18] E' risultato che l'esposizione durante il secondo trimestre di gravidanza può causare malformazioni nel nascituro (OR=1.16, IC95%=1.00-1.34), durante il primo trimestre può causare ritardo nella crescita intrauterina, durante il terzo trimestre la nascita prematura. Il basso peso alla nascita, invece, sembra essere influenzato dall'esposizione durante tutto il periodo della gravidanza. Salam et al. [19] hanno utilizzato i certificati di nascita dei bambini nati in California (USA) tra il 1975 ed il 1987 per risalire alla storia riproduttiva materna e al luogo di residenza al momento della nascita, ed hanno reperito le informazioni sui fattori socio-demografici materni e sull'abitudine al fumo in gravidanza attraverso la somministrazione di questionari. I livelli mensili medi degli inquinanti sono stati determinati sulla base del codice di avviamento postale della residenza della madre al momento del parto. Attraverso l'esecuzione di modelli di regressione lineare ad effetti misti è risultato che ad un aumento di 20 $\mu g/m^3$ di PM_{10} è associata una diminuzione del peso alla nascita di 21.7g (IC95%=1.1-42.2), ma, dopo l'aggiustamento per ozono, tale associazione non è stata interamente confermata.

Il progetto di Monitoraggio degli Inceneritori nel Territorio dell'Emilia-Romagna (Moniter) [20] ha studiato l'associazione tra la residenza nei pressi di inceneritori e l'incidenza di eventi avversi in gravidanza. I risultati non hanno evidenziato alcun effetto sul rapporto tra i sessi alla nascita, sulle nascite gemellari e sul basso peso alla nascita. L'esito "piccoli per età gestazionale" ha mostrato un trend debolmente significativo per livelli crescenti di esposizione. Lo studio ha invece rilevato un'associazione coerente e statisticamente significativa tra livelli di esposizione ad emissioni da termovalorizzatore e nascite pre-termine. L'aumento progressivo del rischio in relazione agli indicatori di esposizione, l'esteso set di variabili di confondi mento, le numerose analisi di sensibilità, la plausibilità biologica dell'effetto depongono per una relazione causale.

In sostanza, l'esame della letteratura ha indicato solo delle possibili associazioni con la salute riproduttiva e l'alterata frequenza di nati pre-termine sembra essere il dato più rilevante. Questo studio, tuttavia non ha messo in evidenza nessuna associazione per questo esito.

I risultati di questo studio vanno interpretati anche alla luce dei punti di forza e di debolezza riscontrati. Tra i punti di forza:

1. l'accuratezza nella definizione dell'esposizione delle madri durante il primo trimestre di gravidanza:
    a. la disponibilità di dati di coorte di popolazione, comprensivi di date di ingresso ed uscita di ogni donna dai comuni in studio, ha permesso sia di stabilire se la donna al momento della gravidanza fosse effettivamente residente nell'area d'interesse sia di accertare se il trimestre considerato ai fini della valutazione dell'esposizione fosse intercorso prima o dopo la messa in funzione degli impianti;
    b. la georeferenziazione dei soggetti ha permesso di stabilire se la residenza della donna, durante il primo trimestre di gravidanza, fosse all'interno del buffer considerato come area di esposizione;
2. la disponibilità di informazioni sui confondenti:per evitare distorsioni delle stime di associazione, i risultati sono aggiustati per il potenziale effetto confondente di variabili individuali (età e posizione socio-economica della madre) ma soprattutto di variabili relative ad altri fattori di pressione ambientale

(prossimità a strade ad alto traffico veicolare e/o a siti industriali, qualità dell'aria);

3. Nel caso dei termovalorizzatori il confronto tra gli esiti avvenuti prima e dopo la messa in funzione degli impianti.

Tra i limiti dello studio:

1. la potenza statistica dello studio è, soprattutto nell'esempio dei termovalorizzatori, decisamente ridotta a causa della bassa numerosità degli eventi;
2. è stato considerato come periodo di esposizione soltanto il primo trimestre di gravidanza sebbene alcuni esiti avversi potrebbero essere associati all'esposizione nel periodo successivo[18]; bisogna, tuttavia sottolineare che molto spesso l'abitazione durante tutto il periodo della gravidanza è la stessa;
3. non è stato possibile ricostruire la storia residenziale delle madri per poter associare la corretta esposizione durante i primi tre mesi di gravidanza. Si è considerata infatti come prima scelta la residenza del figlio alla nascita e in assenza di questa la residenza della madre all'inizio del *follow-up*; tale inaccuratezza, tuttavia, dovrebbe essere minima;
4. per i termovalorizzatori non è stato possibile aggiustare per le variabili relative alle altre due fonti di esposizione a PM_{10}, il cementificio e l'inquinamento dell'aria, a causa multicollinearità ma è stato necessario svolgere analisi separate per le tre fonti;
5. non è stato possibile tenere conto dell'abitudine al fumo della madre, notoriamente associata ad alcuni degli esiti studiati (nascite pretermine e basso peso alla nascita tra i nati a termine [21-22]);
6. nel CedAP non era disponibile l'informazione sulla fecondazione assistita pertanto non è stato possibile eliminare tali casi dallo studio (rilevanti specialmente ai fini dell'analisi della gemellarità); la numerosità di questi eventi è tuttavia ridotta.

In conclusione, questo studio non ha evidenziato particolari effetti dell'esposizione agli impianti per il trattamento dei rifiuti urbani presenti nella regione Lazio sul verificarsi di eventi avversi alla gravidanza.

BIBLIOGRAFIA

1. Alexander G.R., Wingate M.S., Mor J., Boulet S., Birth outcomes of Asian-Indian-Americans. *Int J GynaecolObstet* 2007 pp. 215-220.
2. Kierans WJ, Joseph KS, Luo ZC, Platt R, Wilkins R, Kramer MS. Does one size fit all? The case for ethnic-specific standards of fetal growth. BMC Pregnancy Childbirth. 2008 Jan 8;8:1.
3. Davies DP, Senior N, Cole G, Blass D, Simpson K. Size at birth of Asian and white Caucasian babies born in Leicester: implications for obstetric and paediatric practices. Early Hum Dev. 1982;6:257–263. doi: 10.1016/0378-3782(82)90119-0.
4. Wang X, Guyer B, Paige DM. Differences in gestational age-specific birthweight among Chinese, Japanese and White Americans. Int J Epidemiol. 1994;23:119–128. doi: 10.1093/ije/23.1.119.
5. Baolin Z, Ray Y, Feiqiu W, Baoqiong W. Comparison of birth weight by gestational age between China and the United States. Chinese Med J. 1997;110:148–151.
6. Cesaroni G, Agabiti N, Rosati R, Forastiere F, Perucci CA. An index of socioeconomic position based on 2001 Census, Rome. EpidemiolPrev. 2006 Nov-Dec;30(6):352-7.
7. Lahmann PH, Wills RA, Coory M.. Trends in birth size and macrosomia in Queensland, Australia, from 1988 to 2005. PaediatrPerinatEpidemiol. 2009 Nov;23(6):533-41.
8. Glinianaia SV, Rankin J, Pless-Mulloli T, Pearce MS, Charlton M, Parker L.. Temporal changes in key maternal and fetal factors affecting birth outcomes: a 32-year population-based study in an industrial city. BMC Pregnancy Childbirth. 2008 Aug 19;8:39.
9. Porta D, Milani S, Lazzarino AI, PerucciCA, Forastiere F. - Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. - Environ Health. 2009 Dec 23;8:60.
10. Jansson B, Voog L: Dioxin from Swedish municipal incinerators and the occurrence of cleft lip and palate malformations. *Int J Environ Stud* 1989, 34:99-104.

11. Lloyd OL, Lloyd MM, Williams FL, Lawson A: Twinning in human populations and in cattle exposed to air pollution from incinerators. *Br J Ind Med* 1988, 45:556-560.
12. Williams FL, LawsonAB, Lloyd OL: Low sex ratios of births in areas at risk from air pollution from incinerators, as shown by geographical analyis and 3-dimensional mapping. *Int J Epidemiol*1992, 21:311-319.
13. Dummer TJ, Dickinson HO, Parker L: Adverse pregnancy outcomes around incinerators and crematoriums in Cumbria, north westEngland, 1956-93. *J Epidemiol Community Health* 2003, 57:456-461.
14. Cordier S, Chevrier C, Robert-Gnansia E, Lorente C, Brula P, Hours M: Risk of congenital anomalies in the vicinity of municipal solid waste incinerators. *Occup Environ Med* 2004, 61:8-15.
15. Tango T, Fujita T, Tanihata T, Minowa M, Doi Y, Kato N, Kunikane S, Uchiyama I, Tanaka M, Uehata T: Risk of adverse reproductive outcomes associated with proximity to municipal solid waste incinerators with high dioxin emission levels in Japan. *J Epidemiol*2004, 14:83-93.
16. Xu X, Sharma RK, Talbott EO, Zborowski JV, Rager J, Arena VC, Volz CD. PM_{10} air pollution exposure during pregnancy and term low birth weight in Allegheny County, PA, 1994-2000. Int Arch Occup Environ Health. 2011 Mar;84(3):251-7. Epub 2010 May 23.
17. Brauer M, Lencar C, Tamburic L, Koehoorn M, Demers P, Karr C. A cohort study of traffic-related air pollution impacts on birth outcomes. Environ Health Perspect. 2008 May;116(5):680-6.
18. Kim OJ, Ha EH, Kim BM, Seo JH, Park HS, Jung WJ, Lee BE, Suh YJ, Kim YJ, Lee JT, Kim H, Hong YC. PM_{10} and pregnancy outcomes: a hospital-based cohort study of pregnant women in Seoul. J Occup Environ Med. 2007 Dec;49(12):1394-402.
19. Salam MT, Millstein J, Li YF, Lurmann FW, Margolis HG, Gilliland FD. Birth outcomes and prenatal exposure to ozone, carbon monoxide, and particulate matter: results from the Children's Health Study. Environ Health Perspect. 2005 Nov;113(11):1638-44.
20. Regione Emilia-Romagna. I Risultati del Progetto Moniter. Gli Effetti degli Inceneritori sull'Ambiente e la Salute in Emilia-Romagna. Quaderni di Moniter 04<11. Bologna, Novembre 2011

21. Erickson AC, Arbour LT. Heavy smoking during pregnancy as a marker for other risk factors of adverse birth outcomes: a population-based study in British Columbia, Canada. BMC Public Health. 2012 Feb 6;12:102.
22. Page RL 2nd, Slejko JF, Libby AM. A Citywide Smoking Ban Reduced Maternal Smoking and Risk for Preterm, Not Low Birth Weight, Births: A Colorado Natural Experiment. J Womens Health (Larchmt). 2012 Mar 8. [Epub ahead of print]

Tabella 1 – Caratteristiche descrittive dei nati per livelli di esposizione ad emissioni da termovalorizzatore

Caratteristiche della coorte		Totale		Pre-termovalorizzatore Esposizione al PM_{10} da termovalorizzatore						Post-termovalorizzatore Esposizione al PM_{10} da termovalorizzatore					
				Bassa		Media		Alta		Bassa		Media		Alta	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
		2,056	100	288	100	159	100	93	100	768	100	487	100	261	100
Età della madre	15-20	43	2.1	5	1.7	2	1.3	3	3.2	15	2.0	13	2.7	5	1.9
	21-34	1,423	69.2	214	74.3	110	69.2	64	68.8	551	71.7	311	63.9	173	66.3
	35-40	547	26.6	64	22.2	44	27.7	23	24.7	188	24.5	151	31.0	77	29.5
	41-49	43	2.1	5	1.7	3	1.9	3	3.2	14	1.8	12	2.5	6	2.3
Numero di parti precedenti	0	1,128	54.9	151	52.4	76	47.8	52	55.9	426	55.5	268	55.0	155	59.4
	1	755	36.7	104	36.1	67	42.1	36	38.7	279	36.3	179	36.8	90	34.5
	>=2	173	8.4	33	11.5	16	10.1	5	5.4	63	8.2	40	8.2	16	6.1
Nazionalità madre	Italiana	1,937	94.2	281	97.6	158	99.4	88	94.6	716	93.2	457	93.8	237	90.8
	Straniera	119	5.8	7	2.4	1	0.6	5	5.4	52	6.8	30	6.2	24	9.2
Titolo studio madre	nessuno/elementari/medie	1,211	58.9	133	46.2	86	54.1	40	43.0	498	64.8	290	59.5	164	62.8
	superiori/università	845	41.1	155	53.8	73	45.9	53	57.0	270	35.2	197	40.5	97	37.2
Livello socio-economico	Alto	172	8.4	23	8.0	6	3.8	23	24.7	32	4.2	20	4.1	68	26.1
	Medio-alto	623	30.3	81	28.1	32	20.1	37	39.8	283	36.8	102	20.9	88	33.7
	Medio	681	33.1	67	23.3	73	45.9	33	35.5	185	24.1	218	44.8	105	40.2
	Medio-basso	395	19.2	60	20.8	45	28.3	0	0.0	148	19.3	142	29.2	0	0.0
	Basso	97	4.7	31	10.8	0	0.0	0	0.0	66	8.6	0	0.0	0	0.0
	Missing	88	4.3	26	9.0	3	1.9	0	0.0	54	7.0	5	1.0	0	0.0
Inceneritore	Colleferro	1,925	93.6	248	86.1	159	100.0	93	100.0	677	88.2	487	100.0	261	100.0
	San Vittore del Lazio	131	6.4	40	13.9	0	0.0	0	0.0	91	11.8	0	0.0	0	0.0
Fiume Sacco	<= 1 Km	217	10.6	23	8.0	24	15.1	0	0.0	76	9.9	93	19.1	1	0.4
Colleferro Scalo	Residente	42	2.0	10	3.5	0	0.0	0	0.0	32	4.2	0	0.0	0	0.0
Strade principali	<=150 m	1,015	49.4	152	52.8	63	39.6	58	62.4	378	49.2	186	38.2	178	68.2
PM_{10} background	<50° percentile	996	48.4	248	86.1	22	13.8	1	1.1	641	83.5	77	15.8	7	2.7
	50° - 90° percentile	762	37.1	17	5.9	84	52.8	92	98.9	56	7.3	259	53.2	254	97.3
	>90° percentile	298	14.5	23	8.0	53	33.3	0	0.0	71	9.2	151	31.0	0	0.0
PM_{10} cementificio	<50° percentile	1,171	57.0	219	76.0	57	35.9	54	58.1	523	68.1	177	36.3	141	54.0
	50° - 90° percentile	678	33.0	64	22.2	58	36.5	37	39.8	233	30.3	174	35.7	112	42.9
	>90° percentile	207	10.1	5	1.7	44	27.7	2	2.2	12	1.6	136	27.9	8	3.1

Tabella 2 – Distribuzione degli esiti in studio per livelli di esposizione ad emissioni da termovalorizzatore e periodo in studio (pre/post attivazione dei termovalorizzatori)

		Esposizione al PM_{10} da termovalorizzatore							
		Bassa		Media		Alta		Totale	
	Periodo	*n*		*n*		*n*		*n*	
Nascite	Pre	288		159		93		540	
	Post	768		487		261		1516	
Esiti della gravidanza	*Periodo*	*n*	*%*	*n*	*%*	*n*	*%*	*n*	*%*
Maschi (1)	Pre	142	49.3	76	47.8	51	54.8	269	49.8
	Post	405	52.7	244	50.1	139	53.3	788	52.0
Nascita pre-termine (2)	Pre	18	6.3	13	8.2	10	10.8	41	7.6
	Post	41	5.3	21	4.3	13	5.0	75	4.9
Basso peso alla nascita (3)	Pre	22	7.6	9	5.7	8	8.6	39	7.2
	Post	45	5.9	38	7.8	13	5.0	96	6.3
Basso peso alla nascita tra i nati a termine (4)	Pre	8	2.8	3	1.9	4	4.3	15	2.8
	Post	14	1.8	15	3.1	5	1.9	34	2.2
Piccoli per età gestazionale (5)	Pre	35	12.2	18	11.3	13	14.0	66	12.2
	Post	64	8.3	56	11.5	27	10.3	147	9.7
Gemellarità (6)	Pre	7	2.5	0	0.0	1	1.1	8	1.5
	Post	12	1.6	8	1.7	1	0.4	21	1.4

(1) Rapporto tra il numero di nati maschi ed il numero di nati femmine
(2) Nati con età gestazionale <37 settimane, escludendo i gemelli
(3) Nati con peso <2500gr
(4) Nati a termine con peso <2500gr, escludendo i gemelli ed i nati pretermine
(5) Neonati di peso in grammi inferiore o uguale al 10° percentile previsto per la settimana di gravidanza alla nascita e per sesso del neonato, esclusi i gemelli ed i nati da madri provenienti dalla regione indiana
(6) Numero di parti gemellari

Tabella 3 – Correlazione tra le diverse fonti di esposizione

	PM_{10} termovalorizzatore	PM_{10} background	PM_{10} cementificio
PM_{10} termovalorizzatore	1		
PM_{10} background	0.6535	1	
PM_{10} cementificio	0.7579	0.6058	1

Tabella 4 – Associazione tra esposizione a PM_{10} di *background* ed esiti riproduttivi, odds ratio del modello di regressione logistica con aggiustamento per caratteristiche materne e ambientali

Esiti della gravidanza	Esposizione al PM_{10} di background					
	Media			Alta		
	OR	I.C. 95%		OR	I.C. 95%	
Maschi	1.19	0.87	1.64	0.87	0.61	1.23
Nascita pre-termine	0.80	0.39	1.64	0.72	0.32	1.61
Basso peso alla nascita	0.63	0.33	1.20	0.63	0.31	1.27
Basso peso alla nascita tra i nati a termine	0.87	0.33	2.34	0.19	0.05	0.81
Piccoli per età gestazionale	1.43	0.85	2.40	1.14	0.63	2.06

Tabella 5 – Associazione tra esposizione a PM_{10} da cementificio ed esiti riproduttivi, odds ratio del modello di regressione logistica con aggiustamento per caratteristiche materne e ambientali

Esiti della gravidanza	Esposizione al PM_{10} da cementificio					
	Media			Alta		
	OR	I.C. 95%		OR	I.C. 95%	
Maschi	1.18	0.96	1.46	0.72	0.51	1.03
Nascita pre-termine	1.04	0.66	1.64	1.15	0.53	2.52
Basso peso alla nascita	1.02	0.67	1.55	0.68	0.33	1.41
Basso peso alla nascita tra i nati a termine	1.46	0.76	2.82	0.68	0.20	2.24
Piccoli per età gestazionale	1.25	0.89	1.75	0.93	0.52	1.66

Tabella 6 – Effetto dell'esercizio del termovalorizzatore (Post verso Pre) sugli esisti riproduttivi nelle aree di media ed alta esposizione a PM_{10} da termovalorizzatori: odds ratio del modello di regressione logistica con aggiustamento per caratteristiche materne e ambientali

Esiti della gravidanza	Esposizione al PM_{10} da termovalorizzatore					
	Media			Alta		
	OR	I.C. 95%		OR	I.C. 95%	
Maschi	0.96	0.61	1.52	0.81	0.47	1.41
Nascita pre-termine	0.54	0.22	1.37	0.50	0.18	1.43
Basso peso alla nascita	0.73	0.32	1.66	1.09	0.46	2.62
Basso peso alla nascita tra i nati a termine	2.90	0.62	13.59	0.69	0.14	3.47
Piccoli per età gestazionale	1.53	0.74	3.14	1.06	0.46	2.46

Tabella 7 – Caratteristiche descrittive dei nati per livelli di esposizione ad emissioni da discariche

Caratteristiche materne e ambientali		Totale		Esposizione a H_2S Bassa		Media		Alta	
		n	%	n	%	n	%	n	%
		16,847	100.0	8,412	100.0	6,751	100.0	1,684	100.0
Età della madre	15-20	346	2.1	182	2.2	130	1.9	34	2.0
	21-34	11,973	71.1	5,978	71.1	4,771	70.7	1,224	72.7
	35-40	4,122	24.5	2,063	24.5	1,664	24.6	395	23.5
	41-49	406	2.4	189	2.2	186	2.8	31	1.8
Numero di parti precedenti	0	9,454	56.1	4,729	56.2	3,780	56.0	945	56.1
	1	5,891	35.0	2,944	35.0	2,366	35.0	581	34.5
	2	1,246	7.4	614	7.3	501	7.4	131	7.8
	>=3	256	1.5	125	1.5	104	1.5	27	1.6
Nazionalità madre	Italiana	14,960	88.8	7,408	88.1	6,014	89.1	1,538	91.3
	Straniera	1,887	11.2	1,004	11.9	737	10.9	146	8.7
Titolo di studio madre	nessuno/elementari/medie	7,040	41.8	3,399	40.4	2,909	43.1	732	43.5
	superiori/università	9,807	58.2	5,013	59.6	3,842	56.9	952	56.5
Livello socio-economico	Alto	1,457	8.6	1,044	12.4	386	5.7	27	1.6
	Medio-alto	3,331	19.8	1,147	13.6	1,433	21.2	751	44.6
	Medio	2,931	17.4	1,076	12.8	1,436	21.3	419	24.9
	Medio-basso	3,406	20.2	1,477	17.6	1,770	26.2	159	9.4
	Basso	4,102	24.3	2,761	32.8	1,164	17.2	177	10.5
	Missing	1,620	9.6	907	10.8	532	7.9	151	9.0
Discarica	Albano	4,162	24.7	2,449	29.1	1,424	21.1	289	17.2
	Bracciano	264	1.6	145	1.7	18	0.3	1	0.1
	Latina	324	1.9	0	0.0	19	0.3	305	18.1
	Civitavecchia	4,067	24.1	3,965	47.1	97	1.4	5	0.3
	Guidonia	6,297	37.4	1,671	19.9	3,650	54.1	976	58.0
	Viterbo	60	0.4	4	0.0	41	0.6	15	0.9
	Roccasecca	101	0.6	70	0.8	31	0.5	0	0.0
	Colleferro	1,572	9.3	8	0.1	1,471	21.8	93	5.5
Strade principali	<=150 m	7,651	45.4	3,963	47.1	3,203	47.4	485	28.8
	>150 m	9,196	54.6	4,449	52.9	3,548	52.6	1,199	71.2
PM_{10} background	<50° percentile	8,231	48.9	5,431	64.6	2,196	32.5	604	35.9
	50°-90° percentile	6,980	41.4	2,938	34.9	3,286	48.7	756	44.9
	>90 percentile	1,636	9.7	43	0.5	1,269	18.8	324	19.2

Tabella 8 – Distribuzione degli esiti in studio per livelli di esposizione ad emissioni da discariche

			Esposizione a H_2S					
	Totale		Bassa		Media		Alta	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Nascite	16,847	100.0	8,412	100.0	6,751	100.0	1,684	100.0
Esiti della gravidanza								
Maschi (1)	8,623	51.2	4,296	51.1	3,487	51.7	840	49.9
Nascite pre-termine (2)	954	5.7	484	5.8	381	5.6	89	5.3
Basso peso alla nascita (3)	817	4.8	426	5.1	324	4.8	67	4.0
Basso peso alla nascita tra i nati a termine (4)	378	2.2	194	2.3	147	2.2	37	2.2
Piccoli per età gestazionale (5)	1,693	10.0	875	10.4	656	9.7	162	9.6
Gemellarità (6)	510	3.0	225	2.7	231	3.4	54	3.2
Malformazioni (7)	417	2.5	215	2.6	173	2.6	29	1.7

Tabella 9 - Associazione tra esposizione a H_2S da discarica ed esiti riproduttivi:odds ratio del modello di regressione logistica con aggiustamento per caratteristiche materne e ambientali

	Esposizione a H_2S					
Esiti della gravidanza	Media			Alta		
	OR	IC 95%		OR	IC 95%	
Maschi	1.03	0.94	1.12	0.95	0.83	1.08
Nascite pre-termine	1.02	0.84	1.23	0.92	0.69	1.24
Basso peso alla nascita	1.07	0.88	1.32	0.91	0.66	1.26
Basso peso alla nascita tra i nati a termine	1.12	0.83	1.51	1.19	0.76	1.87
Piccoli per età gestazionale	0.89	0.77	1.03	0.94	0.75	1.17
Gemellarità	1.34	0.94	1.92	1.27	0.74	2.18
Malformazioni	1.00	0.76	1.31	0.79	0.50	1.23

VALUTAZIONE EPIDEMIOLOGICA DELLO STATO DI SALUTE DEI LAVORATORI ADDETTI ALLA RACCOLTA, TRASPORTO E SMALTIMENTO DEI RIFIUTI URBANI A ROMA

RIASSUNTO

INTRODUZIONE. Gli addetti al ciclo dei Rifiuti Urbani operano in condizioni igieniche precarie e sono esposti a diverse sostanze potenzialmente tossiche (metalli pesanti, idrocarburi policiclici aromatici, composti organici volatili e idrogeno solforato). I principali effetti sulla salute dei lavoratori sono traumatismi, infezioni respiratorie e gastrointestinali, ridotta funzionalità polmonare, irritazioni e reazioni allergiche.

OBIETTIVO. Valutare la morbosità e mortalità dei lavoratori dell'Azienda Municipalizzata Ambiente del comune di Roma e della discarica di Malagrotta.

METODI. E' stata arruolata una coorte composta dai 6,839 (18.6% donne) addetti in servizio al 01/01/1994, o successivamente assunti fino al 31/12/2009 (fine *follow-up*), con un periodo di impiego di almeno cinque anni. Sono state create tre sottocoorti: addetti alla raccolta, alla discarica, autisti. La ricerca dello stato in vita è stata effettuata mediante *linkage* con i Sistemi Informativi disponibili e con invio di lettere ai comuni di residenza. Sono stati calcolati rapporti standardizzati di mortalità (SMR) e di ospedalizzazione (SHR), aggiustati per età, specifici per causa e genere.

RISULTATI. La mortalità generale e il ricorso alle cure ospedaliere della coorte è in generale sovrapponibile a quello della popolazione del Lazio nello stesso periodo. Per gli addetti alla raccolta, si osserva, tra gli uomini, una frequenza di ospedalizzazioni minore rispetto al riferimento (SHR=0.93, IC95%=0.87-0.99). Per le donne, viceversa, si evidenzia un eccesso di ospedalizzazioni (SHR=1.35, IC95%=1.21-1.51), in particolare per malattie dell'apparato respiratorio (SHR=1.93, IC95%=1.31-2.74), digerente (SHR=1.33, IC95%=1.00-1.74) e per traumatismi (SHR=2.20, IC95%=1.64-2.89).

CONCLUSIONI. Lo studio non ha evidenziato particolari effetti sanitari tra i lavoratori di sesso maschile, tuttavia le lavoratrici meritano una maggiore sorveglianza per rischi respiratori, gastrointestinali e per traumatismi.

INTRODUZIONE

Lo smaltimento dei rifiuti è un argomento di interesse ambientale, sociale ed economico per tutti i paesi in via di sviluppo. In Europa si generano in media 200 milioni di tonnellate di rifiuti all'anno, derivanti principalmente da attività domestiche, commerciali, industriali e agricole e dalla produzione di energia. 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. Gli impianti dedicati al trattamento dei RU, sono considerati dall'opinione pubblica come potenziali fonti di inquinamento ambientale. Raramente, tuttavia, sono considerati i rischi lavorativi, nonostante una esposizione dei lavoratori del settore a metalli pesanti, idrocarburi policiclici aromatici, composti organici volatili, idrogeno solforato, inquinanti organici persistenti, batteri, virus, funghi, presenti nel processo di trattamento e trasformazione dei rifiuti[1].
Le evidenze relative agli effetti sulla salute dei lavoratori addetti alle diversi fasi del ciclo di trattamento dei RU sono ancora inadeguate: la maggior parte degli studi disponibili sono descrittivi, basati su poche osservazioni e quindi con difficoltà di generalizzazione dei risultati; oppure sono *survey* condotte tra i lavoratori di uno specifico impianto di smaltimento. I principali effetti riscontrati sulla salute dei lavoratori sono i traumatismi causati dagli incidenti sul lavoro, le infezioni respiratorie e gastrointestinali, la ridotta funzionalità polmonare, le patologie a carico dell'apparato muscolo-scheletrico, le irritazioni oculari e della cute e le reazioni allergiche[2]. Sono stati descritti numerosi sintomi aspecifici quali senso di bruciore alle estremità, formicolio o intorpidimento, perdita di memoria transitoria, depressione, mal di testa[3], diminuzione della capacità uditiva[4]. La revisione di Porta del 2009[5] ha evidenziato un aumento del cancro gastrico e di problemi respiratori tra i lavoratori degli inceneritori.

Dalle statistiche INAIL[6], nel quinquennio 2004-2008, emerge che gli infortuni più frequenti sono: incidenti stradali, collisioni tra mezzi e investimenti di persone, inciampi, cadute, urti, tagli, punture o abrasioni dovuti a contatto con oggetti taglienti, caduta dall'alto di contenitori dei rifiuti. In particolare la raccolta manuale, lo spazzamento manuale e la circolazione stradale, insieme, caratterizzano circa i due terzi degli infortuni totali denunciati. La gravità di questi eventi non è elevata, poiché si tratta in maggior parte di infortuni che causano inabilità temporanee; infatti, nel complesso dell'Industria e Servizi, l'incidenza dei casi gravi (menomazioni permanenti

e morti sul complesso dei casi indennizzati) è pari a circa il 5%; nel caso delle statistiche aziendali osservate, quest'incidenza scende al 2.5%. Tuttavia, il rischio, in termini di frequenza infortunistica è quasi quadruplo (110.17 casi di indennizzati ogni 1,000 addetti per le aziende dei rifiuti oggetto di studio contro i 29.08 del complesso Industria e Servizi). In particolare, sia per quanto attiene la raccolta meccanizzata che la raccolta manuale, la movimentazione dei cassonetti e la salita/discesa dai veicoli (autocompattatore nel primo caso e autocarri leggeri appositamente attrezzati per l'ausilio alle operazioni di raccolta, nel secondo) rappresentano le operazioni specifiche cui è associato il maggior numero di infortuni, generalmente per interazioni con l'attrezzatura (impigliamento, schiacciamento, colpi/urti). Altri infortuni, legati alla movimentazione manuale dei carichi, possono essere causati dal contatto accidentale con oggetti taglienti - infezioni e malattie dovute alla potenziale contaminazione degli stessi con agenti biologici (ad esempio, aghi contaminati da virus a trasmissione ematica, oggetti taglienti contaminati da microrganismi presenti negli stessi rifiuti indifferenziati) , da caduta di oggetti dall'alto durante il caricamento posteriore dei cassonetti (se il compattatore o il cassone sono troppo pieni/mal chiusi/mal tenuti/mal funzionanti durante lo svuotamento di contenitori), dall'investimento degli operatori provocati dal mezzo di raccolta oppure dal traffico veicolare, da scivolamenti e inciampi nei percorsi a piedi da un punto di raccolta ad un altro (giornalmente gli operatori percorrono circa 10 Km), nella salita e discesa dalla cabina o dal predellino posteriore, durante la movimentazione e lo svuotamento dei contenitori. Sforzi fisici a carico del sistema muscolo-scheletrico e schiacciamenti da caduta costituiscono le principali modalità delle lesioni, seguite da contatti con parti meccaniche. Le contusioni e le lussazioni rappresentano i principali traumi che colpiscono prevalentemente gli arti inferiori. E' stato riscontrato che molte delle patologie denunciate dai lavoratori possono essere ricondotte, oltre alla movimentazione manuale dei carichi, ad agenti biologici di natura infettiva o allergica e al particolato aerodisperso, anche se occorre considerare l'esposizione degli addetti ad altre tipologie di rischio quali il rumore, le vibrazioni, lo stress legato ai turni e al lavoro notturno. Le patologie più comuni comprendono disturbi alle vie respiratorie, infezioni cutanee e gastrointestinali, infiammazioni a carico di superfici cutanee e mucose, soprattutto di occhi e vie respiratorie, asma, shock anafilattico causato dalla puntura di insetti. Lo sviluppo o meno di tali patologie è influenzato da vari fattori, tra cui lo stato di salute del lavoratore esposto, il grado di immunizzazione nei confronti degli agenti infettivi ed eventuali condizioni di particolare predisposizione.

Pertanto, secondo l'INAIL, i principali danni alla salute, rilevati nel comparto dei lavoratori nel processo di gestione dei rifiuti urbani, risultano essere:

1. patologie a carico del sistema muscolo scheletrico;
2. infezioni (micosi e infezioni cutanee e respiratorie) ;
3. dermatiti irritative e allergiche da contatto;
4. patologie acute e croniche dell'apparato respiratorio (asma, alveoliti allergiche);
5. patologie da stress legate ai turni e al lavoro notturno;
6. patologie osteoarticolari dovute a condizioni climatiche e/o microclimatiche sfavorevoli;
7. ipoacusia ed effetti extrauditivi da rumore;
8. fenomeni irritativi di cute, occhi e vie respiratorie.

Nel Lazio, il programma "Epidemiologia, Rifiuti, Ambiente e Salute" della regione - ERASLazio (DGR n. 929/08 e L. n.31/2008 art 34) - è nato con l'obiettivo di fornire informazioni aggiornate e tecnicamente corrette sulle implicazioni per la salute e l'ambiente conseguenti al ciclo dei rifiuti urbani.
L'obiettivo del presente studio è valutare la morbosità e la mortalità tra i lavoratori dell'Azienda Municipalizzata Ambiente (AMA) del comune di Roma e tra i lavoratori della discarica di Malagrotta.

METODI

Disegno dello studio e definizione della coorte

Lo studio è stato condotto con un approccio di coorte di popolazione. La coorte è composta dai soggetti in servizio al 1 Gennaio 1994, o successivamente assunti fino al 31 Dicembre 2009, con un periodo di impiego di almeno cinque anni nelle aziende attive nella raccolta, il trasporto dei RU e tra gli addetti alla discarica di Malagrotta a Roma: AMA (Azienda Municipalizzata Ambiente del comune di Roma), CO.LA.RI,

COMEDI IMPIANTI, E.GIOVI SRL, ECO ITALIA 87, GALERIA SCAVI SRL, GIOVI CAVE SRL, GIOVI IMPIANTI, GIOVI SERVICES SRL, IMPRESA A. CECCHINI & C. SRL, IMPRESA GIOVI SRL, LEADERGREEN SRL, MALAGROTTA DUE, OFFICINE MALAGROTTA SRL, P. GIOVI SRL, PONTEG SRL, PONTINA AMBIENTE SRL, S. ECO. R. SERVIZI ECOLOGICI ROMANI SRL, SORAIN CECCHINI AMBIENTE - S.C.A..
Dai libri matricola aziendali sono stati ricavati, per ogni soggetto, i dati anagrafici, la data di assunzione, la data di cessazione dal servizio e la tipologia di mansione svolta.
Sono state create tre sottocoorti secondo il tipo di mansione svolta:

1. addetti alla raccolta dei rifiuti
2. autisti
3. addetti al trattamento in discarica

Follow-up delle coorti
Le coorti sono state seguite dal 01/01/1994, o dalla successiva data di assunzione, fino al 31/12/2009 (data fine *follow-up*). La ricerca dello stato in vita è stata effettuata in due fasi: *linkage* con i principali sistemi informativi disponibili e invio di lettere ai comuni di residenza per i soggetti "non trovati" nella prima fase.

I fase: follow-up utilizzando i Sistemi Informativi
Per i lavoratori residenti a Roma è stato dapprima effettuato il *record-linkage* con la "foto" al 29/04/2010 dell'Anagrafe del Comune di Roma (o la consultazione on-line dell'anagrafe). Il *linkage* successivo con il Registro Nominativo delle Cause di Morte della Regione Lazio (ReNCaM, anni 1994-2009) ha consentito di individuare i lavoratori deceduti e di recuperare l'informazione sulla causa di morte, codificata secondo le regole della IX Classificazione Internazionale delle Malattie (ICD IX-CM). I lavoratori "non trovati" sono stati cercati nel Sistema Informativo Ospedaliero (SIO, a ritroso per gli anni 2010-1994) nell'ipotesi che avere avuto un ricovero in un ospedale del Lazio fosse una dimostrazione dello stato in vita alla data di dimissione dall'ospedale. Alla fine dei questa prima fase, sono stati considerati vivi alla data di fine *follow-up* i lavoratori deceduti dopo il 31/12/2009, i residenti a Roma alla data del 29/04/2010 o alla data della verifica anagrafica manuale effettuata online e coloro i quali hanno effettuato un ricovero ospedaliero nel 2010.

II fase: follow-up condotto attraverso l'invio delle lettere ai comuni

Per coloro i quali non è stato possibile accertare lo stato in vita al 31/12/2009 è stato effettuato un *linkage* con la Foto dell'Anagrafe del Comune di Roma del 02/04/2009 e sono state inviate lettere ai Comuni di residenza. Per i lavoratori "non trovati" sia nei sistemi informativi sia tramite l'invio di lettere, per gli emigrati e gli irreperibili, come data di fine *follow-up* è stata utilizzata la data di "ultima volta visto", cioè la data massima tra la data di emigrazione, di accertamento dell'irreperibilità, di dimissione e di cessazione dal servizio, considerandoli vivi a tale data.

Il ricorso alle cure ospedaliere di questa coorte è stato eseguito attraverso il *linkage* della coorte di lavoratori, in vita al 01/01/2004, con il Sistema Informativo Ospedaliero (SIO) per gli anni 2004-2009. Sono stati selezionati i soggetti ricoverati almeno una volta, per ognuna delle cause considerate.

In appendice sono descritte in maggiore dettaglio le procedure seguite per l'accertamento dello stato in vita dei lavoratori di questa coorte.

Analisi statistica

Sono stati calcolati gli anni persona a rischio di morte e di prima ospedalizzazione per causa durante il periodo di *follow-up*, specifici per età (18 classi) e periodo di calendario (tre periodi per la mortalità ed uno per le ospedalizzazioni). Ogni soggetto ha contribuito al computo degli anni persona dalla data dell'arruolamento (01/01/1994), per l'analisi di mortalità, o dal 01/01/2004, per l'analisi delle ospedalizzazioni, ovvero a partire dal sesto anno in servizio per coloro che non avessero ancora maturato tale anzianità.

Analisi di mortalità

Per confrontare la mortalità dei lavoratori in studio con quella dei residenti nella regione Lazio, è stata calcolata la mortalità attesa utilizzando i tassi di mortalità del Lazio relativi al periodo 1994-2009 stratificati per classi d'età, per periodo di calendario (1994-1998, 1999-2003, 2004-2009) e sesso. Sono stati calcolati rapporti standardizzati di mortalità (SMR), aggiustati per età e periodo, specifici per causa e genere e i relativi intervalli di confidenza al 95%.

Analisi delle ospedalizzazioni

In analogia con l'analisi di mortalità, sono stati confrontati i lavoratori in studio ed in vita al 01/01/2004 ricoverati almeno una volta, per le diverse cause considerate, nel

periodo 2004-2009, con i ricoverati attesi calcolati utilizzando i tassi di ospedalizzazione del Lazio, relativi allo stesso periodo, stratificati per classi d'età e sesso. Le ospedalizzazioni oggetto di analisi sono esclusivamente il primo evento per causa per ogni lavoratore, quindi sono in studio le persone ricoverate e non i ricoveri.
Sono stati calcolati rapporti standardizzati di ospedalizzazione (SHR), aggiustati per età, specifici per causa e genere. Il denominatore per il calcolo dei casi attesi è rappresentato dagli anni persona della coorte. Il numero di ospedalizzazioni osservato è stato rapportato al numero di ospedalizzazioni attese sulla base della popolazione di riferimento della regione Lazio. Sono stati calcolati gli intervalli di confidenza al 95% dei rapporti standardizzati.

RISULTATI

La coorte iniziale è composta da 6,839 lavoratori, dei quali 4,463 erano ancora in servizio, quindi vivi, alla data di fine *follow-up* (31/12/2009). Per gli altri 2,376 lavoratori è stato necessario accertare lo stato in vita alla data di fine *follow-up* (31/12/2009) attraverso *linkage* con i principali sistemi informativi disponibili e successivamente attraverso l'invio di lettere ai comuni di residenza (Appendice).

La tabella 1 mostra le caratteristiche principali dei 6,839 lavoratori, per tipologia di mansione svolta. Partecipano allo studio 1,471 autisti, 5,160 addetti alla raccolta e 208 addetti alla discarica per RU di Malagrotta. Le 1,271 donne della coorte sono tutte addette alla raccolta, e costituiscono il 25% del totale dei lavoratori addetti a questo settore del ciclo dei rifiuti. L'età media alla data di inizio del *follow-up* (01/01/1994) è più bassa tra gli addetti alla discarica (29 anni) rispetto agli addetti alla raccolta e agli autisti (34 e 35 anni). Tra gli addetti alla raccolta, gli uomini hanno un'età media all'inizio del *follow-up* maggiore di quella delle donne (35.4 vs 27.6 anni, rispettivamente). L'età media all'assunzione è invece simile tra i gruppi a confronto e compresa tra 32 e 34 anni. Da notare che il 21% degli addetti alla discarica sono stati assunti solo a partire dal 2005. Alla chiusura del *follow-up* la percentuale di decessi nella coorte degli autisti era 3.9%, per gli addetti alla raccolta era 4.2% e per gli addetti alla discarica 3.8%. Il totale degli anni-persona per gli autisti, gli addetti alla raccolta e al trattamento in discarica sono rispettivamente 18,039, 53,943 e 1,973.

Nella tabella 2 sono riportati i risultati dello studio della mortalità degli addetti alla raccolta degli RU (uomini e donne). La mortalità di questa categoria di lavoratori è sostanzialmente uguale a quella osservata nello stesso periodo tra i residenti della regione Lazio (SMR tutte le cause: 0.90 negli uomini e 1.08 nelle donne), non sono stati rilevati eccessi o difetti importanti per le singole cause. Nella tabella 3 sono riportati i risultati dello studio della mortalità degli autisti addetti al trasporto dei rifiuti (uomini). Nel periodo in studio si è osservato in questo gruppo una mortalità più bassa rispetto all'atteso regionale per tutte le cause, (SMR=0.70, IC95%=0.53-0.90) e per cause naturali (tutte le cause eccetto i traumatismi, SMR=0.70, IC95%=0.53-0.90). In particolare, si osserva una riduzione del rischio di mortalità per malattie del sistema circolatorio (SMR=0.39, IC95%=0.18-0.74), specialmente per malattie cardiache e ischemiche. I lavoratori presso la discarica di Malagrotta hanno un mortalità per tutte le cause sovrapponibile alla mortalità della popolazione del Lazio nello stesso periodo (Tabella 4).

Nelle tabella 5 sono riportati i risultati dello studio del ricorso alle cure ospedaliere per gli addetti alla raccolta (uomini e donne). La proporzione di uomini che si sono ricoverati almeno una volta per cause naturali è superiore nella coorte rispetto al riferimento regionale (SHR=1.14, IC95%=1.07-1.22). Si evidenzia un eccesso di donne ricoverate per cause naturali (SHR=1.65, IC95%=1.47-1.84), per malattie dell'apparato respiratorio (SHR=1.95, IC95%=1.33-2.77), per malattie dell'apparato digerente (SHR=1.37, IC95%=1.03-1.79) e per traumatismi e avvelenamenti (SHR=2.28, IC95%=1.69-2.99). Per gli autisti si osserva, per cause naturali, un ricorso alle ospedalizzazioni maggiore rispetto a quello dei residenti nella regione Lazio nello stesso periodo (SHR=1.25, IC95%=1.13-1.38), ad eccezione delle malattie cerebrovascolari per le quali sono stati riscontrati meno ospedalizzati rispetto all'atteso (SHR=0.55, IC95%=0.27-0.98) (tabella 6). Per gli addetti alla discarica le ospedalizzazioni osservate non si discostano sostanzialmente da quelle osservate tra gli uomini residenti nella regione Lazio nello stesso periodo (tabella 7).

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

I risultati di questo studio epidemiologico mostrano che a Roma i lavoratori dell'AMA addetti alla raccolta dei rifiuti e i lavoratori della discarica di Malagrotta presentano una mortalità generale che non si discosta da quella regionale, mentre gli autisti addetti al conferimento in discarica dei rifiuti hanno un minore rischio di mortalità rispetto alla popolazione generale della regione Lazio, in particolare per malattie del sistema circolatorio. Per quanto riguarda il ricorso alle cure ospedaliere, il confronto con la popolazione della regione, tenendo conto del genere e della classe d'età, ha mostrato per gli addetti alla discarica una situazione sovrapponibile a quella regionale. Per gli autisti e gli addetti alla raccolta, invece, il rischio di ospedalizzazione risulta maggiore rispetto all'atteso, soprattutto, tra le donne spazzine, per patologie dell'apparato digerente, respiratorio e per traumatismi.

Per l'interpretazione dei risultati dello studio è importante prendere in rassegna i dati della letteratura. Gelberg et al.[7] hanno condotto uno studio trasversale per esaminare gli effetti acuti sulla salute dei lavoratori della discarica Fresh Kills della città di New York osservando una maggior prevalenza di patologie lavoro-correlate per cause respiratorie (OR 2.14, 95%IC=1.35-3.38), dermatologiche (OR=2.07, IC95%=1.11-3.84), neurologiche (OR=1.89, IC95%=1.08-3.32) e dell'apparato uditivo (OR=1.73, IC95%=1.03-2.90) rispetto al gruppo di controllo costituito dai dipendenti amministrativi.
Bresnitz et al.[8] hanno studiato 89 lavoratori di sesso maschile presso l'inceneritore di Philadelphia. I lavoratori sono stati divisi in gruppi di esposizione potenzialmente alta e bassa sulla base del luogo in cui si svolgeva l'attività. Dopo aggiustamento per abitudine al fumo, non sono state trovate differenze nella funzionalità polmonare tra i due gruppi. Nel 1997, Rapiti et al.[9] hanno condotto uno studio retrospettivo di mortalità su 532 lavoratori uomini occupati presso due inceneritori di rifiuti urbani a Roma tra il 1962 e il 1992. La mortalità per tutte le cause è risultata inferiore all'atteso e la mortalità per tutti i tumori sovrapponibile a quella della popolazione generale. La mortalità per cancro al polmone era inferiore all'atteso (SMR=0.55, IC90%=0.15-1.42), ma è stato trovato un aumento del rischio per cancro allo stomaco (SMR=2.79, IC90%=0.94-6.35). Hours et al.[10] hanno analizzato 102 lavoratori uomini occupati presso tre inceneritori francesi nel corso del 1996, appaiati per età con 94 lavoratori uomini provenienti da altre attività industriali. I lavoratori

esposti sono stati distribuiti in 3 categorie di esposizione basate sulle analisi di campioni di aria raccolti sul posto di lavoro: gli operatori di gru e attrezzature, i lavoratori della fornace, i lavoratori della manutenzione e del trattamento degli scarichi. Nei gruppi esposti sono stati osservati eccessi di problemi respiratori, soprattutto tosse ($OR_{fornace}$=6.58, IC95%=2.18-19.85 e $OR_{manutenzione/trattamento}$=2.55, IC95%=0.84-7.75), e una relazione significativa tra l'esposizione e la diminuzione di alcuni parametri polmonari, anche dopo aggiustamento per il consumo di tabacco. Il gruppo di lavoratori della manutenzione e del trattamento degli scarichi e il gruppo lavoratori della fornace mostravano eccessi di rischio per sintomi cutanei. (OR=4.85, IC95%=2.04-11.51 e OR=5.03, IC95%=2.00-12.67, rispettivamente). Nello stesso anno, Takata et al.[11] hanno condotto uno studio trasversale in Giappone su 92 lavoratori di un inceneritore di rifiuti urbani per studiare gli effetti sulla salute dell'esposizione cronica alle diossine. Le concentrazioni di queste sostanze chimiche nel sangue dei lavoratori che erano impegnati nella manutenzione del forno, nella raccolta di polvere elettrica e nella pulizia ad umido dell'inceneritore, erano più alti rispetto a quelli dei residenti nelle aree circostanti, ma non vi erano segni clinici o evidenze correlati ai livelli ematici di diossine.

Ivens et al.[12] hanno studiato gli effetti nocivi per la salute degli addetti alla raccolta di RU in Danimarca. Sono stati somministrati questionari a 2.303 operatori ecologici e ad un gruppo di controllo di 1.430 lavoratori comunali di sesso maschile, per raccogliere informazioni sullo stato di salute e sulle condizioni di lavoro per metterle in relazione all'esposizione stimata di bioaerosol. Dopo l'aggiustamento per diversi fattori confondenti (tra i quali consumo medio giornaliero di alcool e abitudine al fumo), è emersa una relazione dose-risposta tra il livello di esposizione alle spore fungine ed episodi di diarrea auto-riferiti ($PPR_{alta\ esp}$=5.60, IC95%=2.39-13.08; PPR_{media}=3.45, IC95%=2.24-5.31; PPR_{bassa}=3.02, IC95%=1.86-4.92). In contrasto con questi risultati, uno studio di Yang et al.[13] su 853 lavoratori occupati presso 27 uffici comunali di raccolta dei rifiuti domestici a Taiwan non ha trovato alcun eccesso di sintomi gastrointestinali. I lavoratori hanno risposto ad un questionario e sono stati classificati in due gruppi secondo specifiche esposizioni occupazionali determinate in base alla mansione riportata dall'intervistato. Il gruppo esposto includeva i lavoratori nella raccolta di RU misti, di rifiuti differenziati e di particolari tipi di rifiuti domestici (carta, vetro, ecc), di rifiuti dei giardini, di rifiuti ingombranti per l'incenerimento ed i conducenti dei camion per il trasporto; il gruppo di controllo includeva commercialisti, cronometristi, personale addetto alla mensa, impiegati ed altri. Non sono state

riscontrate differenze significative nella prevalenza dei sintomi gastrointestinali, ma la prevalenza di tutti i sintomi respiratori, tranne la dispnea, è risultata significativamente più alta nel gruppo esposto, dopo aggiustamento per età, sesso, istruzione, abitudine al fumo, e durata del rapporto di lavoro. Anche lo studio *cross-sectional* di Athanasiou et al. del 2010[14], su un campione di 184 lavoratori (104 nella discarica e 80 impiegati) nel comune di Keratsini in Grecia, ha evidenziato una maggiore prevalenza di sintomi respiratori, specialmente tosse (OR=3.0, IC95%=1.3-7.2) e catarro (OR=2.5, IC95%=1.1–6.1), e una maggiore riduzione della funzione polmonare tra gli esposti.

La riduzione della mortalità generale, osservata nel nostro studio per tutti i lavoratori, è spiegabile dalla ridotta mortalità per malattie cardiovascolari ed è in accordo con quanto rilevato dalla letteratura scientifica. L'effetto lavoratore sano, infatti, è un fenomeno osservato negli studi di epidemiologia occupazionale: i lavoratori, in genere, mostrano bassi tassi di mortalità per tutte le cause rispetto alla popolazione generale in quanto i malati cronici gravi e i disabili sono normalmente esclusi dal lavoro[15-16].
L'eccesso di ospedalizzazioni tra le donne della coorte, attribuibile principalmente a malattie dell'apparato respiratorio, gastrointestinale e ai traumatismi, è dovuto probabilmente alla tipologia di mansione svolta ossia la raccolta dei RU.
Secondo lo studio di Ivens et al. del 1998[17], il numero di lesioni tra i raccoglitori di rifiuti dipende, tra le altre cose, dall'età della persona, dall'anzianità di servizio, dalla mansione, dall'ora del giorno, il giorno della settimana, e la stagione. Lo studio ha anche suggerito una riduzione del rischio di sperimentare un infortunio con l'età, infatti l'età elevata è di solito associata ad una elevata anzianità di servizio e quindi maggiore esperienza. Visto che gli infortuni presso l'impianto di trattamento dei rifiuti non avvengono prevalentemente né tra i giovani né tra gli impiegati permanenti, sembra che l'inesperienza del lavoratore non sia una spiegazione plausibile. Al contrario, la causa di questi infortuni potrebbe essere il lavoro ripetitivo e pesante.

Nella coorte dei lavoratori dei rifiuti a Roma, si è osservato un eccesso di rischio di donne ricoverate per malattie dell'apparato digerente tra le addette alla raccolta dei rifiuti, anche se le evidenze di letteratura in merito al rischio di patologie a carico dell'apparato gastrointestinale tra i lavoratori addetti alla raccolta dei rifiuti sono controverse.[12-13] L'effetto osservato potrebbe essere associato anche ad altri fattori, quali il consumo di alcool, una dieta scarsa di frutta e verdura ed uno stato socio-

economico più basso, dei quali non è stato possibile tenere conto in questo studio. Tuttavia, nel periodo considerato, tra queste lavoratrici non si è osservato nemmeno un ricovero per cirrosi epatica.

L'eccesso di ospedalizzazioni per malattie dell'apparato respiratorio è coerente con i risultati dello studio *cross-sectional* di Athanasiou et al. del 2010[14] e con lo studio di Heldal et al. del 2003.[18] Heldal sosteneva che il modo in cui vengono raccolti i rifiuti è particolarmente importante, infatti, ad esempio, la raccolta dei rifiuti organici potrebbe causare un aumento del rischio di infiammazione delle vie aeree superiori. I risultati forniti dal presente studio sono in linea con quanto riportato in letteratura, con particolare riferimento alla revisione di Kuijer et al. del 2010[19]: moderata evidenza di rischio aumentato per disturbi respiratori e lesioni muscolo-scheletriche e limitata evidenza di disordini gastrointestinali.

In questa coorte l'eccesso di rischio di ricorrere alle cure ospedaliere per malattie dell'apparato respiratorio (+95%), per malattie dell'apparato digerente (+37%) e per traumatismi (+128%) si osserva soltanto tra le donne addette alla raccolta dei rifiuti. Questa differenza di genere e i suoi determinanti meritano senz'altro di essere ulteriormente studiati.

Infine, dal punto di vista metodologico, le procedure di *record-linkage* con i Sistemi Informativi disponibili (anagrafe comunale, registro regionale di mortalità, sistema informativo ospedaliero della Regione Lazio), utilizzate per l'accertamento dello stato in vita dei lavoratori di questa coorte, hanno consentito di ridurre sensibilmente il numero di persone per le quali il *follow-up* è stato condotto con i metodi tradizionali (invio delle lettere ai comuni di residenza), diminuendo sensibilmente i tempi necessari per l'accertamento.

In conclusione, non vi sono particolari effetti sanitari tra i lavoratori di sesso maschile addetti alla raccolta e al trasporto di rifiuti ma le lavoratrici meritano una maggiore attenzione per rischi respiratori, gastrointestinali e da trauma. Ovviamente è rilevante la continua sorveglianza epidemiologica.

BIBLIOGRAFIA

1. Krajewski JA, Tarkowski S, Cyprowski M et al: Occupational exposure to organic dust associated with municipal waste collection and management. *Int J Occup Med Environ Health* 2002; 15(3):289-301.
2. Krajewski JA, Tarkowski S, Cyprowski M: Hazardous health effects in communal waste collection and disposal workers. *Med Pr* 2000; 51(2):159-72.
3. Ray MR, Roychoudhury S, Mukherjee G et al: Respiratory and general health impairments of workers employed in a municipal solid waste disposal at an open landfill site in Delhi. *Int J Hyg Environ Health* 2005; 208(4):255-62.
4. Shi TM, Weng SF, Liu YW et al: The analysis of adverse health effects of occupational hazards factors in one solid waste landfill. Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi. 2011 Jul; 29(7):514-8.
5. Porta D, Milani S, Lazzarino AI et al: Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. *Environ Health* 2009 Dec 23; 8:60.
6. Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro: I rischi professionali. Milano: INAIL, 2009 (La sicurezza per gli operatori della raccolta dei rifiuti e dell'igiene urbana. Edizione 2009). Disponibile online all'indirizzo http://www.inail.it/Portale/appmanager/portale/desktop?_nfpb=true&_pageLabel=PAGE_PUBBLICAZIONI&nextPage=PUBBLICAZIONI/Tutti_i_titoli/Rischio_professionale/La_sicurezza_per_gli_operatori_della_raccolta_dei_rifiuti_e_dell_igiene_urbana/info-606956441.jsp (ultimo accesso 20/04/2012).
7. Gelberg KH: Health study of New York City Department of Sanitation landfill employees. *Journal of Occup Environ Med* 1997; 39:1103–1110.
8. Bresnitz EA, Roseman J, Becker D, Gracely E: Morbidity among municipal waste incinerator workers. *Am J Ind Med* 1992; 22(3):363-78.
9. Rapiti E, Sperati A, Fano V et al: Mortality among workers at municipal waste incinerators in Rome: a retrospective cohort study. *Am J Ind Med* 1997 May; 31(5):659-61.
10. Hours M, Anzivino-Viricel L, Maitre A et al: Morbidity among municipal waste incinerator workers: a cross-sectional study. *Int Arch Occup Environ Health* 2003 Jul; 76(6):467-72.
11. Takata T: Survey on the health effects of chronic exposure to dioxins and its accumulation on workers of a municipal solid waste incinerator, rural part of

Osaka Prefecture, and the results of extended survey afterwards. *Ind Health* 2003 Jul; 41(3):189-96.

12. Ivens UI, Hansen J, Breum NO et al: Diarrhoea among waste collectors associated with bioaerosol exposure. *Ann Agric Environ Med* 1997; 4:63–68.
13. Yang CY, Chang WT, Chuang HY et al: Adverse health effects among household waste collectors in Taiwan. *Environ Res* 2001 Mar; 85(3):195-9.
14. Athanasiou M, Makrynos G, Dounias G: Respiratory health of municipal solid waste workers. *Occup Med* (Lond) 2010 Dec; 60(8):618-23.
15. Last J: A Dictionary of Epidemiology. 3rd ed. Oxford, UK: *Oxford University Press* 1995.
16. McMichael AJ: Standardized mortality ratios and the "healthy worker effect": Scratching beneath the surface. *J Occup Med* 1976 Mar; 18(3):165-8.
17. Ivens UI, Lassen JH, Kaltoft BS, Skov T: Injuries among domestic waste collectors. *Am J Ind Med* 1998 Feb; 33(2):182-9.
18. Heldal KK, Halstensen AS, Thorn J et al: Upper airway inflammation in waste handlers exposed to bioaerosols. *Occup Environ Med* 2003 Jun; 60(6):444-50.
19. Kuijer PP, Sluiter JK, Frings-Dresen MH: Health and safety in waste collection: Towards evidence-based worker health surveillance. *Am J Ind Med* 2010 Oct; 53(10):1040-64.

Tabella 1. Caratteristiche delle coorti di lavoratori addetti alla raccolta, al trasporto e al trattamento dei Rifiuti Urbani a Roma

		Addetti alla raccolta						**Autisti**	
		Uomini		*Donne*		*Totale*		*Uomini*	
Numerosità		3889	(75%)	1271	(25%)	5160		1471	
Età media in anni al 01/01/1994 (DS)		35.4	(12.2)	27.6	(8.5)	33.5	(11.9)	34.8	(11.7)
Periodo di assunzione	<=1984	0	(0%)	0	(0%)	0	(0%)	0	(0%)
	1985-1994	2808	(72%)	422	(33%)	3230	(63%)	1236	(84%)
	1995-2004	1019	(26%)	773	(61%)	1792	(35%)	107	(7%)
	>=2005	62	(2%)	76	(6%)	138	(3%)	128	(9%)
Età media all'assunzione in anni (DS)		33.4	(7.9)	31.6	(7.2)	32.9	(7.7)	32.1	(7.9)
Stato in vita al 31/12/2009	Vivi	3664	(94.2%)	1258	(99.0%)	4922	(95.4%)	1412	(96.0%)
	Morti	204	(5.3%)	11	(0.9%)	215	(4.2%)	57	(3.9%)
	Persi*	21	(0.5%)	2	(0.2%)	23	(0.4%)	2	(0.1%)
Anni persona	<=19		0.1%		0.4%		0.1%		0.0%
	20-29		1.6%		3.3%		1.9%		1.7%
	30-39		24.0%		39.4%		26.6%		30.7%
	40-49		32.1%		41.7%		33.7%		32.3%
	>=50		42.3%		15.2%		37.8%		35.3%

* Lo stato in vita non è stato accertato al 31/12/2009 bensì alla data di 'ultima volta visto'.

Tabella 2. Decessi per causa nella coorte di lavoratori addetti alla raccolta di RU. Numero di casi osservati (OSS), attesi (ATT) e rapporti standardizzati indiretti di mortalità (SMR) aggiustati per età e periodo con i relativi Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per causa. Riferimento regione Lazio. Uomini e donne. Periodo 1994 -2009

CAUSA (ICD-9-CM)	MORTI	ATTESI	SMR	INF	SUP	MORTI	ATTESI	SMR	INF	SUP
Tutte le cause	204	226.25	0.90	0.78	1.03	11	10.19	1.08	0.54	1.93
Cause naturali (001-799)	181	207.47	0.87	0.75	1.01	8	9.32	0.86	0.37	1.69
Malattie infettive e parassitarie (001-139)	5	2.86	1.75	0.57	4.09	0	0.11			
Tumori maligni (140-208)	86	95.84	0.90	0.72	1.11	5	5.71	0.88	0.28	2.04
Tumori maligni dello stomaco (151)	6	6.35	0.94	0.35	2.06	0	0.27			
Tumori maligni del colon e del retto (153,154)	5	9.65	0.52	0.17	1.21	0	0.47			
Tumori maligni del fegato e dotti biliari (155, 156)	7	6.68	1.05	0.42	2.16	0	0.17			
Tumori maligni del pancreas (157)	4	5.37	0.74	0.20	1.91	1	0.21			
Tumori maligni della laringe (161)	3	1.88	1.60	0.33	4.66	1	0.02			
Tumori maligni della trachea, dei bronchi e dei polmoni (162)	33	31.92	1.03	0.71	1.45	0	0.83			
Tumori maligni della pleura (163)	1	0.57				1	0.02			
Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli (171)	1	0.49				0	0.05			
Tumori maligni della mammella della donna (174)						1	1.56			
Tumori maligni della vescica (188)	4	3.24	1.23	0.34	3.16	0	0.03			
Tumori maligni del rene e di altri non specificati organi urinari (189)	2	2.79	0.72	0.09	2.59	0	0.06			
Tumori maligni della prostata (185)	1	3.29								
Tumori maligni del sistema nervoso centrale (191,192,225)	4	3.78	1.06	0.29	2.71	0	0.00			
Tumori maligni del tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	6	7.65	0.78	0.29	1.71	0	0.44			
Malattie neurologiche (330-349)	2	3.53	0.57	0.07	2.05	0	0.20			
Malattie del sistema circolatorio (390-459)	51	64.90	0.79	0.59	1.03	2	1.54	1.30	0.16	4.69
Malattie cardiache (390-429)	40	49.81	0.80	0.57	1.09	1	0.99			
Malattie ischemiche (410-414)	27	31.59	0.85	0.56	1.24	0	0.42			
Malattie cerebrovascolari (430-438)	10	10.88	0.92	0.44	1.69	1	0.46			
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	3	7.15	0.42	0.09	1.23	0	0.18			
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466, 480-487)	1	1.21				0	0.05			
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492,494,496)	1	3.56				0	0.05			
Malattie dell'apparato digerente (520-579)	17	12.87	1.32	0.77	2.11	1	0.39			
Malattie renali (580-599)	1	1.83				0	0.07			
Traumatismi e avvelenamenti (800-999)	20	16.81	1.19	0.73	1.84	3	0.79	3.78	0.78	11.04

Tabella 3. Decessi per causa nella coorte di lavoratori che svolgono la mansione di autisti. Numero di casi osservati (OSS), attesi (ATT) e rapporti standardizzati indiretti di mortalità (SMR) aggiustati per età e periodo con i relativi Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per causa. Riferimento regione Lazio. Uomini. Periodo 1994 -2009

CAUSA (ICD-9-CM)	OSS	ATT	SMR	INF	SUP
Tutte le cause	57	81.70	**0.70**	**0.53**	**0.90**
Cause naturali (001-799)	47	74.18	**0.63**	**0.47**	**0.84**
Malattie infettive e parassitarie (001-139)	2	1.08	1.85	0.22	6.67
Tumori maligni (140-208)	27	33.62	0.80	0.53	1.17
Tumori maligni dello stomaco (151)	1	2.23			
Tumori maligni del colon e del retto (153,154)	3	3.38	0.89	0.18	2.59
Tumori maligni del fegato e dotti biliari (155, 156)	4	2.33	1.72	0.47	4.40
Tumori maligni del pancreas (157)	2	1.87	1.07	0.13	3.86
Tumori maligni della laringe (161)	2	0.65	3.07	0.37	11.08
Tumori maligni della trachea, dei bronchi e dei polmoni (162)	7	11.08	0.63	0.25	1.30
Tumori maligni della pleura (163)	0	0.19			
Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli (171)	0	0.18			
Tumori maligni della vescica (188)	1	1.13			
Tumori maligni del rene e di altri non specificati organi urinari (189)	2	0.97	2.05	0.25	7.41
Tumori maligni della prostata (185)	0	1.16			
Tumori maligni del sistema nervoso centrale (191,192,225)	0	1.35			
Tumori maligni del tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	1	2.76			
Malattie neurologiche (330-349)	0	1.27			
Malattie del sistema circolatorio (390-459)	9	23.10	**0.39**	**0.18**	**0.74**
Malattie cardiache (390-429)	4	17.73	**0.23**	**0.06**	**0.58**
Malattie ischemiche (410-414)	3	11.12	**0.27**	**0.06**	**0.79**
Malattie cerebrovascolari (430-438)	3	3.88	0.77	0.16	2.26
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	3	2.57	1.17	0.24	3.42
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466, 480-487)	0	0.44			
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492,494,496)	2	1.26	1.59	0.19	5.73
Malattie dell'apparato digerente (520-579)	2	4.65	0.43	0.05	1.55
Malattie renali (580-599)	0	0.65			
Traumatismi e avvelenamenti (800-999)	8	6.78	1.18	0.51	2.33

Tabella 4. Decessi per causa nella coorte di lavoratori addetti al trattamento di RU (in discarica). Numero di casi osservati (OSS), attesi (ATT) e rapporti standardizzati indiretti di mortalità (SMR) aggiustati per età e periodo con i relativi Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per causa. Riferimento regione Lazio. Uomini. Periodo 1994 -2009

CAUSA (ICD-9-CM)	OSS	ATT	SMR	INF	SUP
Tutte le cause	8	6.62	1.21	0.52	2.38
Cause naturali (001-799)	4	5.79	0.69	0.19	1.77
Malattie infettive e parassitarie (001-139)	0	0.09			
Tumori maligni (140-208)	2	2.51	0.80	0.10	2.88
Tumori maligni dello stomaco (151)	0	0.16			
Tumori maligni del colon e del retto (153,154)	0	0.25			
Tumori maligni del fegato e dotti biliari (155, 156)	0	0.17			
Tumori maligni del pancreas (157)	0	0.14			
Tumori maligni della laringe (161)	0	0.05			
Tumori maligni della trachea, dei bronchi e dei polmoni (162)	2	0.80	2.51	0.30	9.07
Tumori maligni della pleura (163)	0	0.01			
Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli (171)	0	0.02			
Tumori maligni della vescica (188)	0	0.08			
Tumori maligni del rene e di altri non specificati organi urinari (189)	0	0.07			
Tumori maligni della prostata (185)	0	0.09			
Tumori maligni del sistema nervoso centrale (191,192,225)	0	0.11			
Tumori maligni del tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	0	0.22			
Malattie neurologiche (330-349)	0	0.11			
Malattie del sistema circolatorio (390-459)	1	1.83			
Malattie cardiache (390-429)	0	1.39			
Malattie ischemiche (410-414)	0	0.84			
Malattie cerebrovascolari (430-438)	1	0.32			
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	0	0.21			
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466, 480-487)	0	0.04			
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492,494,496)	0	0.10			
Malattie dell'apparato digerente (520-579)	1	0.36			
Malattie renali (580-599)	0	0.05			
Traumatismi e avvelenamenti (800-999)	3	0.77	3.91	0.81	11.43

Tabella 5. Soggetti ricoverati per causa nella coorte di lavoratori addetti alla raccolta di RU. Numero di casi osservati (OSS), attesi (ATT) e rapporti standardizzati indiretti di ospedalizzazione (SHR) aggiustati per età con i relativi Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per causa. Riferimento regione Lazio. Uomini e donne. Periodo 2004 -2009

CAUSA (ICD-9-CM)	uomini					donne				
	OSS	ATT	SHR	INF	SUP	OSS	ATT	SHR	INF	SUP
Tutte le cause	1102	960.38	**1.15**	**1.08**	**1.22**	539	259.48	**2.08**	**1.91**	**2.26**
Cause naturali (001-629, 677-799)	1001	875.69	**1.14**	**1.07**	**1.22**	323	196.06	**1.65**	**1.47**	**1.84**
Malattie infettive e parassitarie (001-139)	19	28.03	0.68	0.41	1.06	5	4.26	1.17	0.38	2.74
Epatite (070)	6	5.01	1.20	0.44	2.61	2	0.51	3.89	0.47	14.06
Tumori maligni (140-208)	113	132.12	0.86	0.70	1.03	29	21.47	1.35	0.90	1.94
Tumori maligni dello stomaco (151)	4	5.38	0.74	0.20	1.90	2	0.33	6.06	0.73	21.89
Tumori maligni del colon e del retto (153,154)	18	17.18	1.05	0.62	1.66	0	1.34			
Tumori maligni del fegato (155)	6	4.76	1.26	0.46	2.74	0	0.14			
Tumori maligni del pancreas (157)	1	3.43	0.29	0.01	1.62	1	0.26			
Tumori maligni della laringe (161)	3	3.34	0.90	0.19	2.62	0	0.06			
Tumori maligni della trachea, dei bronchi e dei polmoni (162)	16	19.17	0.83	0.48	1.36	2	0.91	2.21	0.27	7.97
Tumori maligni della pleura (163)	2	0.54	3.71	0.45	13.41	0	0.02			
Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli (171)	0	1.03				1	0.15			
Tumori maligni della mammella della donna (174)						11	7.87	1.40	0.70	2.50
Tumori maligni della prostata (185)	14	18.97	0.74	0.40	1.24					
Tumori maligni della vescica (188)	18	16.78	1.07	0.64	1.70	0	0.33			
(189)	2	6.00	0.33	0.04	1.20	0	0.34			
Tumori maligni dell'encefalo (191)	2	3.11	0.64	0.08	2.33	0	0.33			
Tumori maligni della ghiandola tiroidea (193)	3	4.11	0.73	0.15	2.13	6	3.39	1.77	0.65	3.85
Tumori maligni del tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	7	9.51	0.74	0.30	1.52	0	1.06			
Malattie della tiroide (240-246)	10	11.25	0.89	0.43	1.63	7	8.08	0.87	0.35	1.78
Malattie del sistema nervoso centrale (330-349)	24	20.00	1.20	0.77	1.79	8	3.86	2.07	0.89	4.08
Malattie del sistema circolatorio (390-459)	273	283.52	0.96	0.85	1.08	28	23.06	1.21	0.81	1.75
Malattie cardiache (390-429)	172	194.09	0.89	0.76	1.03	12	10.85	1.11	0.57	1.93
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	98	107.07	0.92	0.74	1.12	2	3.14	0.64	0.08	2.30
Malattie cerebrovascolari (430-438)	57	57.00	1.00	0.76	1.30	1	3.58			
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	104	112.98	0.92	0.75	1.12	31	15.87	**1.95**	**1.33**	**2.77**
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466, 480-487)	25	31.29	0.80	0.52	1.18	5	3.61	1.38	0.45	3.23
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492,494,496)	18	15.23	1.18	0.70	1.87	3	0.86	3.49	0.72	10.21
Malattie dell'apparato digerente (520-579)	217	236.05	0.92	0.80	1.05	53	38.65	**1.37**	**1.03**	**1.79**
Cirrosi epatica (5712,5715)	14	11.61	1.21	0.66	2.02	0	0.56			
Malattie dell'apparato genitourinario (580-629)	116	120.23	0.96	0.80	1.16	65	53.50	1.21	0.94	1.55
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	13	14.25	0.91	0.49	1.56	1	1.13	0.89	0.02	4.94
Traumatismi e avvelenamenti (800-999)	166	171.55	0.97	0.83	1.13	51	22.41	**2.28**	**1.69**	**2.99**

Tabella 6. Soggetti ricoverati per causa nella coorte di lavoratori che svolgono la mansione di autisti. Numero di casi osservati (OSS), attesi (ATT) e rapporti standardizzati indiretti di ospedalizzazione (SHR) aggiustati per età con i relativi Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per causa. Riferimento regione Lazio. Uomini. Periodo 2004 -2009

CAUSA (ICD-9-CM)	OSS	ATT	SHR	INF	SUP
Tutte le cause	438	345.79	**1.27**	**1.15**	**1.39**
Cause naturali (001-629, 677-799)	395	315.26	**1.25**	**1.13**	**1.38**
Malattie infettive e parassitarie (001-139)	10	10.78	0.93	0.44	1.71
Epatite (070)	0	1.98			
Tumori maligni (140-208)	42	46.34	0.91	0.65	1.23
Tumori maligni dello stomaco (151)	1	1.90			
Tumori maligni del colon e del retto (153,154)	4	5.97	0.67	0.18	1.72
Tumori maligni del fegato (155)	3	1.66	1.80	0.37	5.27
Tumori maligni del pancreas (157)	4	1.20	3.32	0.90	8.50
Tumori maligni della laringe (161)	2	1.16	1.72	0.21	6.21
Tumori maligni della trachea, dei bronchi e dei polmoni (162)	4	6.64	0.60	0.16	1.54
Tumori maligni della pleura (163)	0	0.18			
Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli (171)	0	0.37			
Tumori maligni della prostata (185)	5	6.38	0.78	0.25	1.83
Tumori maligni della vescica (188)	2	5.82	0.34	0.04	1.24
Tumori maligni del rene e di altri non specificati organi urinari (189)	3	2.12	1.41	0.29	4.13
Tumori maligni dell'encefalo (191)	2	1.11	1.80	0.22	6.49
Tumori maligni della ghiandola tiroidea (193)	2	1.56	1.28	0.16	4.63
Tumori maligni del tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	2	3.44	0.58	0.07	2.10
Malattie della tiroide (240-246)	6	4.14	1.45	0.53	3.15
Malattie del sistema nervoso centrale (330-349)	3	7.37	0.41	0.08	1.19
Malattie del sistema circolatorio (390-459)	97	101.55	0.96	0.77	1.17
Malattie cardiache (390-429)	66	68.64	0.96	0.74	1.22
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	35	37.42	0.94	0.65	1.30
Malattie cerebrovascolari (430-438)	11	20.17	**0.55**	**0.27**	**0.98**
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	39	41.46	0.94	0.67	1.29
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466, 480-487)	12	11.46	1.05	0.54	1.83
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492,494,496)	1	5.39			
Malattie dell'apparato digerente (520-579)	102	85.98	1.19	0.97	1.44
Cirrosi epatica (5712,5715)	2	4.30	0.47	0.06	1.68
Malattie dell'apparato genitourinario (580-629)	42	42.85	0.98	0.71	1.33
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	6	5.12	1.17	0.43	2.55
Traumatismi e avvelenamenti (800-999)	60	64.63	0.93	0.71	1.19

Tabella 7. Soggetti ricoverati per causa nella coorte di lavoratori addetti al trattamento di RU (in discarica). Numero di casi osservati (OSS), attesi (ATT) e rapporti standardizzati indiretti di ospedalizzazione (SHR) aggiustati per età con i relativi Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per causa. Riferimento regione Lazio. Uomini. Periodo 2004 -2009

CAUSA (ICD-9-CM)	OSS	ATT	SHR	INF	SUP
Tutte le cause	37	40.12	0.92	0.65	1.27
Cause naturali (001-629, 677-799)	35	35.07	1.00	0.70	1.39
Malattie infettive e parassitarie (001-139)	2	1.26	1.59	0.19	5.73
Epatite (070)	0	0.25			
Tumori maligni (140-208)	4	3.80	1.05	0.29	2.70
Tumori maligni dello stomaco (151)	0	0.15			
Tumori maligni del colon e del retto (153,154)	0	0.47			
Tumori maligni del fegato (155)	0	0.13			
Tumori maligni del pancreas (157)	0	0.10			
Tumori maligni della laringe (161)	0	0.09			
Tumori maligni della trachea, dei bronchi e dei polmoni (162)	0	0.51			
Tumori maligni della pleura (163)	0	0.01			
Tumori maligni del connettivo e di altri tessuti molli (171)	0	0.04			
Tumori maligni della prostata (185)	1	0.45			
Tumori maligni della vescica (188)	2	0.46	4.39	0.53	15.88
Tumori maligni del rene e di altri non specificati organi urinari (189)	0	0.18			
Tumori maligni dell'encefalo (191)	0	0.10			
Tumori maligni della ghiandola tiroidea (193)	0	0.16			
Tumori maligni del tessuto linfatico ed ematopoietico (200-208)	0	0.32			
Malattie della tiroide (240-246)	0	0.39			
Malattie del sistema nervoso centrale (330-349)	0	0.75			
Malattie del sistema circolatorio (390-459)	11	9.27	1.19	0.59	2.12
Malattie cardiache (390-429)	9	5.94	1.52	0.69	2.88
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	4	3.13	1.28	0.35	3.28
Malattie cerebrovascolari (430-438)	1	1.65			
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	3	4.51	0.66	0.14	1.94
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466, 480-487)	0	1.16			
Malattie polmonari cronico ostruttive (490-492,494,496)	0	0.44			
Malattie dell'apparato digerente (520-579)	5	8.77	0.57	0.19	1.33
Cirrosi epatica (5712,5715)	0	0.38			
Malattie dell'apparato genitourinario (580-629)	2	3.98	0.50	0.06	1.81
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi (580-589)	1	0.46			
Traumatismi e avvelenamenti (800-999)	3	8.10	0.37	0.08	1.08

APPENDICE ALLO STUDIO

Accertamento dello stato in vita

La coorte iniziale è composta da 6,839 lavoratori, dei quali 4,463 erano ancora in servizio, quindi vivi, alla data di fine *follow-up* (31/12/2009). Per gli altri 2,376 lavoratori è stato necessario accertare lo stato in vita alla data di fine *follow-up* (31/12/2009) attraverso *linkage* con i principali sistemi informativi disponibili e successivamente attraverso l'invio di lettere ai comuni di residenza. Le procedure seguite (Figura 1) sono così riassumibili:

1. verifica se la residenza disponibile, fornita dai database aziendali, fosse dentro o fuori il Comune di Roma;
2. *linkage* con la prima 'foto dell'anagrafe del Comune di Roma' successiva alla fine del *follow-up*;
3. *linkage* con il registro nominativo delle cause di morte (ReNCaM) della Regione Lazio, per gli anni dal 1994 al 2009;
4. *linkage* con il sistema informativo ospedaliero (SIO) del 2010.

Per 668 lavoratori, per i quali non è stato possibile stabilire lo stato in vita alla data di fine *follow-up* (31/12/2009), se residenti a Roma, è stata effettuata una ricerca manuale sull'anagrafe online (Figura 2).

Per 595 lavoratori, emigrati da Roma prima del 31/12/2009 o residenti fuori comune, sono state inviate lettere ai comuni di residenza (Figura 3).

Alla fine del processo di accertamento dello stato in vita si è stabilito che, dei 6,839 lavoratori della coorte iniziale, 6,529 sono vivi al 31/12/2009, 30 alla data di "ultima volta visto" e 280 sono deceduti (Figura 4).

Figura 1. Accertamento dello stato in vita, I fase

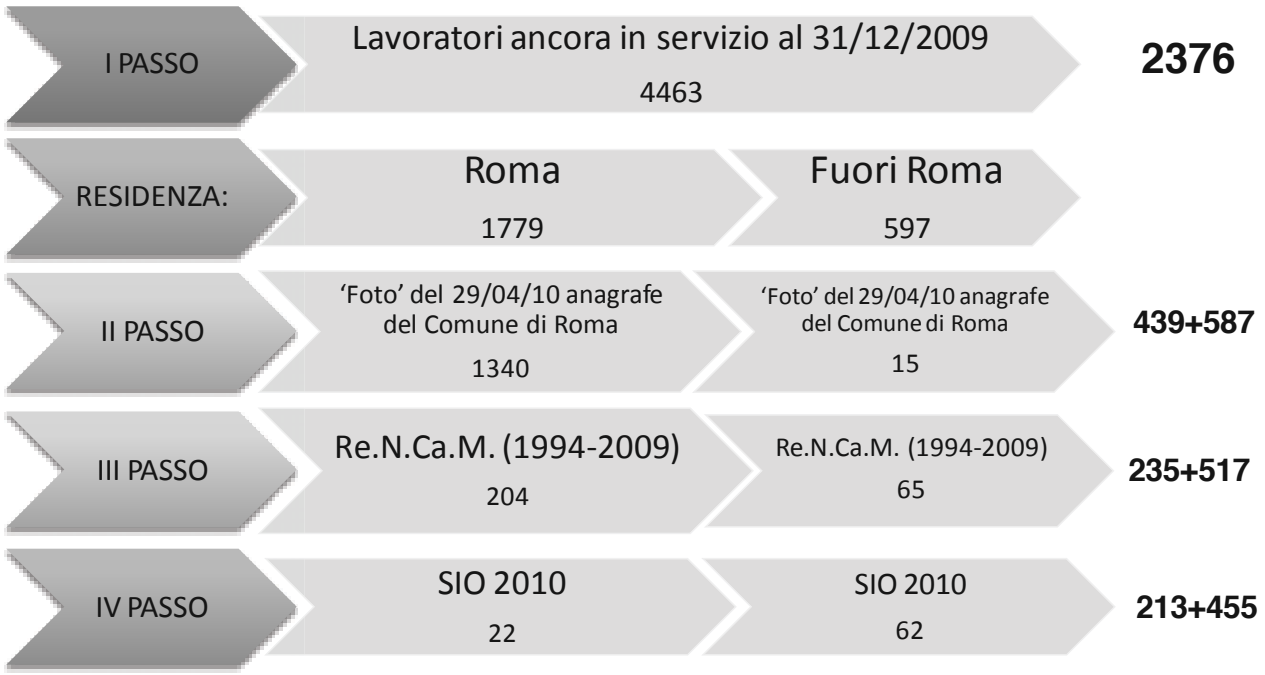


Figura 2. Accertamento dello stato in vita, II fase (1° parte – Ricerca manuale sull'anagrafe online del Comune di Roma)

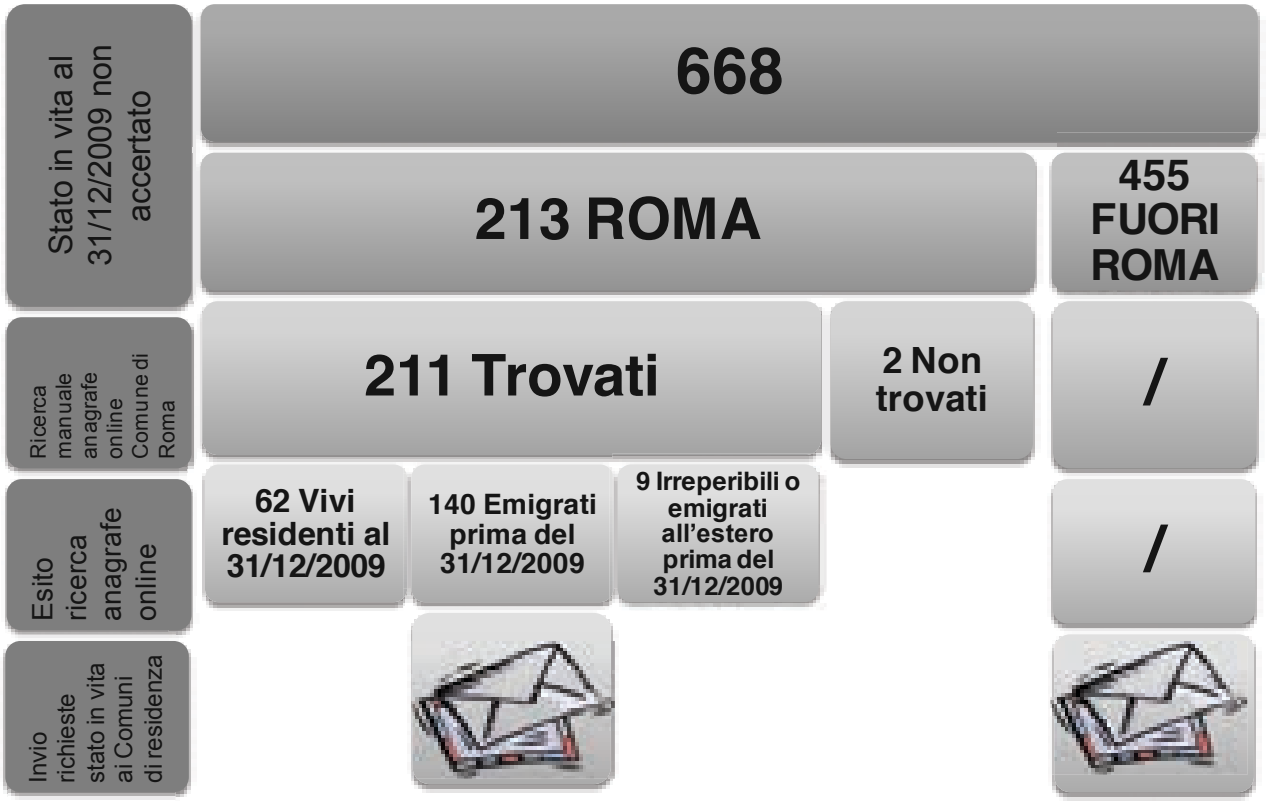


Figura 3. Accertamento dello stato in vita, II fase (2° parte – Invio di lettere ai comuni di residenza)

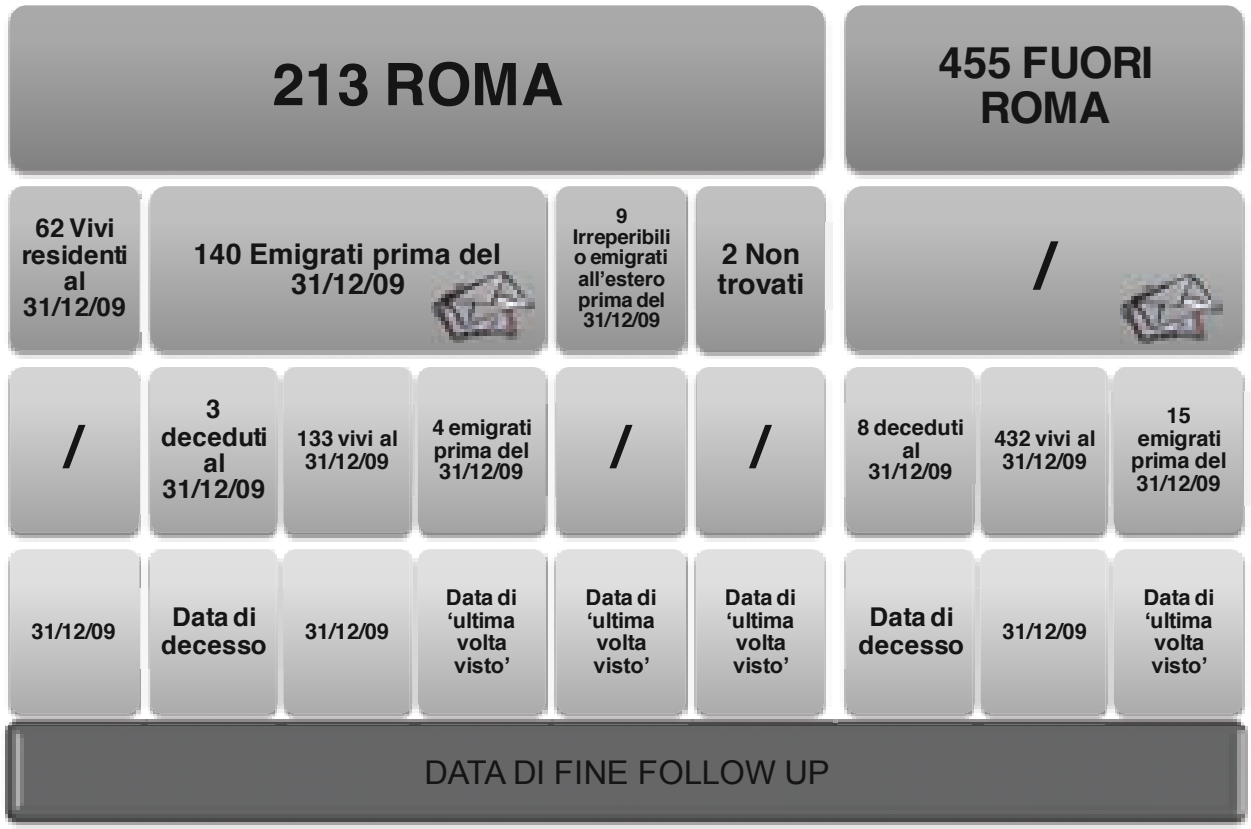


Figura 4. Risultato dell'accertamento dello stato in vita

APPENDICI