



DIEP Lazio
Dipartimento di Epidemiologia
del Servizio Sanitario Regionale
Regione Lazio



**REGIONE
LAZIO**



INDACO
Indagini epidemiologiche
SIN Valle del Sacco

PROGETTO INDACO

Valutazione degli effetti sulla mortalità
causa-specifica delle emissioni dei principali impianti
industriali nel SIN Bacino del Fiume Sacco:
uno studio di coorte amministrativa

Rapporto scientifico

A cura di:

Chiara Badaloni | Emanuela Carloni
Paola Michelozzi | Daniela Porta
Matteo Renzi | Alessandro Trentalange



SINTESI DEI PRINCIPALI RISULTATI

- L'obiettivo dello studio è di valutare gli effetti dell'esposizione in ambito residenziale alle emissioni inquinanti derivanti da impianti industriali. Nello studio sono stati considerati 14 impianti industriali (Fonte: Piano regionale di risanamento della qualità dell'aria della regione Lazio, ARPA Lazio).
- La popolazione in studio è la coorte dei residenti e assistiti costituita da 514.652 adulti vivi al 1° gennaio 2007 (**di cui 221.348 residenti nei 19 Comuni del SIN** e 293.304 residenti nei restanti comuni della provincia di Frosinone). La popolazione è stata seguita nel tempo (follow-up) fino al 31 Dicembre 2018 per valutare gli effetti a lungo termine dell'esposizione ad inquinanti atmosferici sulla mortalità per causa (mortalità per cause non accidentali, mortalità per cause cardiovascolari, respiratorie e oncologiche).

L'area del SIN è stata suddivisa in 5 domini, di ampiezza pari a 30x30 km ed in ciascun dominio sono state considerate le emissioni degli impianti industriali presenti, al fine di valutare l'effetto di ogni singolo impianto industriale e l'effetto cumulativo di tutti gli impianti presenti in ciascun dominio. Per ogni impianto industriale e per ciascun dominio è stata effettuata una simulazione della ricaduta al suolo delle emissioni dei principali inquinanti ed i risultati sono stati utilizzati per definire il livello di esposizione individuale in base all'indirizzo di residenza di ciascun soggetto della coorte.

L'esposizione individuale è stata categorizzata in 3 livelli sulla base della distribuzione dei singoli inquinanti per ogni impianto industriale: livello di esposizione basso (utilizzato come riferimento), intermedio e alto.

- L'analisi di associazione tra esposizione cronica agli inquinanti e la mortalità causa-specifica è stata analizzata utilizzando modelli di COX a rischi proporzionali, aggiustati per età, sesso, stato socio-economico. L'analisi è stata condotta per singoli impianti, per ciascun dominio di esposizione e considerando tutti i domini nel loro insieme.
- **Per la mortalità per tutte le cause** i risultati evidenziano un incremento di rischio associato ad alti livelli di esposizione a PM_{10} e NO_x nel dominio D3. Emerge un segnale anche nel dominio D4, ma non statisticamente significativo. (Figura 7).
- **Per la mortalità per cause cardiovascolari** si osservano incrementi di rischio associati ad alti livelli di esposizione a PM_{10} nei residenti nel dominio D3 e nel dominio D4; l'esposizione a NO_x è associata ad un incremento della mortalità per alti livelli di esposizione nel dominio D4. (Figura 8)
- **La mortalità per cause respiratorie** mostra le stime di effetto più elevate con eccessi di rischio per esposizioni a PM_{10} in tutti i domini (ad eccezione del dominio 4) l'esposizione a NO_x è associata ad eccessi di rischio di mortalità per cause respiratorie nei domini D1, nel dominio D3 e nel dominio D4.
- **La mortalità per i tumori maligni** mostra eccessi elevati per tutti i livelli di esposizione a PM_{10} e NO_x nel dominio D3. Si osservano inoltre eccessi di rischio per il PM_{10} nel dominio D4 e D5. Gli effetti maggiori si osservano nel dominio D3 e D4 dove l'incremento della mortalità per tutti i tumori associata ad esposizione a PM_{10} nel livello alto di esposizione è pari a +41% (con I.C.95%, 1.25-1.59) e a +34% (IC95%, 1.16-1.55) rispettivamente. (Figura 10)
- **La metanalisi** che analizza il rischio **considerando tutti i domini insieme** evidenzia eccessi significativi tra esposizione a PM_{10} e mortalità per cause respiratorie, mentre non risultano overall eccessi

significativi per le altre cause analizzate, confermando un aumento di rischio più importante e generalizzato per gli esiti respiratori, derivanti dalle emissioni di particolato della maggior parte degli impianti in studio.

- I risultati evidenziano nella popolazione esposta a inquinanti industriali un incremento della mortalità per cause respiratorie (per tutti gli impianti analizzati) ed un incremento della mortalità per cause tumorali nei domini centrali D3 e D4 dove sono localizzati il maggior numero di impianti industriali. Rispetto a quest'ultimo esito è in corso uno studio per analizzare, oltre alla mortalità per cause tumorali, l'incidenza di tumori sede specifica per identificare eventuali cause tumorali in eccesso nell'area.

INTRODUZIONE

La Valle del fiume Sacco è un'area complessa con diversi siti industriali che producono emissioni di inquinanti in atmosfera e che nel corso degli anni hanno prodotto sversamenti e discariche di rifiuti industriali non controllati con contaminazione del suolo e del fiume Sacco, con rischi per la salute dei residenti. In particolare, la matrice atmosferica risulta condizionata da numerosi fattori che ne determinano l'inquinamento a numerose sostanze, come il traffico veicolare, il riscaldamento domestico e le emissioni provenienti dalle attività industriali.

In aree fortemente esposte a pressioni industriali, la popolazione residente mostra un aumento della suscettibilità a diversi esiti sanitari (mortalità e morbosità causa-specifica). La letteratura epidemiologica ha prodotto negli ultimi decenni numerose evidenze sugli effetti sulla salute delle esposizioni ambientali nei Siti di Interesse Nazionale (SIN), in particolare mostrando un aumento di mortalità per cause oncologiche e per patologie respiratorie [1,2]. Le evidenze sottolineano che spesso in queste aree sono diverse le fonti di pressione ambientale e sociale che contribuiscono al peggioramento dello stato di salute delle popolazioni residenti [3-8].

Nello studio sono stati considerati gli impianti industriali selezionati come sorgenti puntuali emissive nel Piano regionale di risanamento della qualità dell'aria della regione Lazio. Per questi impianti, considerati rilevanti per il loro contributo emissivo, sono disponibili dati di maggior dettaglio sulle caratteristiche degli impianti utilizzate per una 'realistica' simulazione dei processi fisico/chimici cui sono soggette le sostanze inquinanti in atmosfera. I valori delle emissioni di ogni impianto e le caratteristiche dei singoli camini derivano dall'inventario APAT 2000 (l'inventario Nazionale delle Emissioni per settore di attività).

L'obiettivo dello studio è una valutazione approfondita dell'associazione tra esposizione cronica ad inquinamento ambientale dalle 14 fonti industriali identificate e gli effetti a lungo termine sulla mortalità per cause naturali, cardiovascolari, respiratorie e tumorali nell'area del SIN Bacino del Fiume Sacco, tramite un approccio di coorte amministrativa.

MATERIALI E METODI

Area in studio

L'area del SIN Bacino del Fiume Sacco comprende 19 comuni, di cui 4 in provincia di Roma e 15 in provincia di Frosinone. Ai fini di questo rapporto, l'area in studio è stata estesa al dominio di simulazione emissiva degli impianti industriali, come specificato nei paragrafi successivi. Sono stati selezionati soltanto i comuni in provincia di Roma e Frosinone che ricadono all'interno dei domini di simulazione, tralasciando quindi i comuni di altre province (Figura 1).

Coorte amministrativa

I dati sanitari e di popolazione sono stati ottenuti attraverso i sistemi informativi della Regione Lazio. Per ogni soggetto residente e assistito in un comune della Regione sono disponibili dall'Anagrafe assistiti informazioni anonimizzate relative a dati individuali (data di nascita, sesso, posizione socioeconomica ed indirizzo di residenza), e dati sanitari: ricoveri ospedalieri, accessi al Pronto Soccorso, prescrizioni farmaceutiche, mortalità per causa, e dati provenienti dai Registri di Patologia (es. Registro Tumori Lazio).

I dati presenti nei sistemi informativi sanitari e nei Registri di patologia vengono anonimizzati per consentire il trattamento dei dati secondo le normative vigenti per la privacy. La procedura di anonimizzazione determina un codice univoco per ogni soggetto che permette il record linkage tra tutti i database sanitari disponibili.

Lo stato socio-economico è un indicatore composito di area assegnato ad ogni unità di censimento ISTAT della Regione. L'indicatore viene calcolato sulla base di cinque condizioni che concorrono operativamente a descrivere il concetto multidimensionale della deprivazione sociale e materiale: basso livello di istruzione, disoccupazione, mancato possesso dell'abitazione, famiglia monogenitoriale e alta densità abitativa.

Ad ogni soggetto è stato assegnato il valore relativo alla sezione di censimento di residenza. Inoltre, sono state ottenute dal censimento ISTAT 2011 le informazioni relative al titolo di studio e all'occupazione lavorativa. La disponibilità di queste ultime informazioni risulta limitata ad una porzione della popolazione in esame. Tutte le informazioni disponibili sono state infine utilizzate per arruolare una coorte di residenti nei comuni del SIN e in vita al 1° gennaio 2007. La popolazione è stata seguita nel tempo (follow-up) fino al 31 Dicembre 2018, registrando tutti i decessi o i trasferimenti di residenza.

Dati sanitari

Gli esiti sanitari analizzati in questo rapporto sono stati ottenuti dai dati di mortalità tramite il record linkage con il registro nominativo delle cause di morte (ReNCaM). Questi dati sono stati estrapolati per i residenti dei comuni afferenti all'area in studio per il periodo considerato nelle analisi. Gli esiti analizzati sono stati classificati sulla base dell'indice Internazionale di classificazione delle patologie (9th versione; ICD-9) con i seguenti codici: 0-799 per cause non-accidentali; 390-459 per le cause cardiovascolari; 460-519 per le cause respiratorie; 140-249 per i tumori maligni per gli anni dal 2006 al 2017 e sulla base dell'Indice ICD-10 per gli esiti del 2018 con i seguenti codici: (A00-R99) per cause non-accidentali; (I00-I99) per le cause cardiovascolari; (J00-J99) per le cause respiratorie; (C00-C97) per i tumori maligni.

Dati ambientali

Al fine di caratterizzare l'inquinamento da 14 siti industriali presenti nell'area del SIN Bacino del Fiume Sacco, sono state prodotte delle simulazioni modellistiche per tutti gli inquinanti di ogni impianto. Nel presente rapporto è stata fatta l'analisi solo per il PM_{10} e NO_x , inquinanti comuni in ogni dominio, i modelli per tutti gli altri inquinanti di ogni impianto sono mostrati nell'Appendice. La società ARIA-NET srl, con cui il Dipartimento di Epidemiologia ha già collaborato per numerosi progetti, è stata incaricata di sviluppare i modelli di simulazione. L'area del SIN è stata suddivisa in 5 domini, di ampiezza pari a 30x30 km e risoluzione spaziale pari a 200 m, per poter determinare un risultato di esposizione più fine per ogni singolo impianto e cumulativo degli impianti presenti in ogni dominio. La suddivisione dell'area è riportata in Figura 1. La selezione della popolazione è avvenuta considerando la popolazione esposta alle concentrazioni al suolo degli inquinanti emessi in atmosfera. In questo modo è stata selezionata la popolazione residente esposta alle emissioni di ciascun inquinante.

All'interno di ciascun dominio, è stato utilizzato il modello lagrangiano a particelle SPRAY [9,10]. Il modello prevede la ricostruzione della distribuzione sul territorio circostante delle concentrazioni medie annuali al suolo delle principali emissioni di inquinanti industriali. Quest'attività di modellazione prevedere due steps preliminari:

1. Messa a punto di un quadro emissivo di riferimento per gli impianti di interesse. La configurazione emissiva si basa sull'inventario regionale delle emissioni (ARPA Lazio). I dati di interesse per la modellazione riguardano la posizione, altezza e diametro di ogni camino/sorgente, le condizioni termodinamiche di uscita degli effluenti (velocità/portata e temperatura), e le emissioni totali annue o tassi di emissione per i diversi inquinanti di interesse.
2. Predisposizione di una base di dati meteorologica 3D oraria su un anno di riferimento. L'informazione meteorologica su base annuale utilizzata, riferita al 2015, è stata ricostruita mediante i dati prodotti dal modello meteorologico prognostico RAMS. I dati di vento, temperatura, radiazione solare, copertura nuvolosa e precipitazione ora per ora sono stati utilizzati per effettuare una discesa di scala sui domini target a 200 m tenendo conto delle caratteristiche orografiche superficiali e di uso del suolo. Sono stati utilizzati i modelli diagnostici SWIFT (per la ricostruzione del vento medio e della temperatura) e SURFPRO (per la ricostruzione della turbolenza). [11,12]

I modelli lagrangiani a particelle superano i limiti teorico/pratici dei modelli più semplificati (gaussiani rettilinei e stazionari e modelli a puff), in quanto consentono di seguire l'evoluzione dei pennacchi emessi seguendo in modo esplicito le caratteristiche tridimensionali della meteorologia e della turbolenza in ogni punto, non solo in corrispondenza del baricentro dei pennacchi emessi. Per ciascun dominio e per ciascun impianto sono state calcolate le mappe delle medie annuali per gli inquinanti di interesse. I risultati sono stati visualizzati attraverso mappe geo-riferite.

Per ogni soggetto è stata assegnata l'esposizione di interesse all'indirizzo di residenza, sia per il singolo impianto industriale, sia a livello cumulativo di dominio.

Analisi statistica

Le caratteristiche descrittive sono state riportate come frequenze e relative percentuali per le variabili categoriche, e media e relativa deviazione standard per le variabili continue.

L'analisi di associazione tra esposizione cronica agli inquinanti e la mortalità per causa-specifica è stata analizzata con un approccio di studio di coorte per il periodo 2007-2018. L'analisi statistica applicata è basata su modelli di COX a rischi proporzionali. La proporzionalità dei rischi è stata valutata attraverso l'analisi dei residui di Schoenfeld.

L'associazione è stata aggiustata per le caratteristiche individuali come l'età (asse temporale), il sesso, la posizione socio-economica (indicatore di area a livello di sezione di censimento). Le variabili che non hanno rispettato la condizione di proporzionalità dei rischi sono state inserite nel modello di analisi come strati, in modo da valutare i differenti rischi al baseline (in questo caso solamente il sesso ha subito questa variazione).

L'analisi è stata effettuata su cinque domini; è stata valutata l'esposizione cumulativa dell'area, considerando la coorte di residenti esposti agli impianti industriali. I risultati di questa analisi sono stati poi sintetizzati con una metanalisi ad effetti casuali per ottenere una stima globale ("pooled") sia per NO_x che per PM_{10} .

I soggetti esposti sono stati categorizzati in 3 livelli in base alla loro esposizione (bassa, intermedia e alta). Il primo livello è stato assegnato per i valori inferiori al 50° percentile della distribuzione dell'inquinante, il secondo livello per i valori tra il 50° e l'80° percentile ed infine l'ultimo livello di esposizione per i valori superiori all'80° percentile.

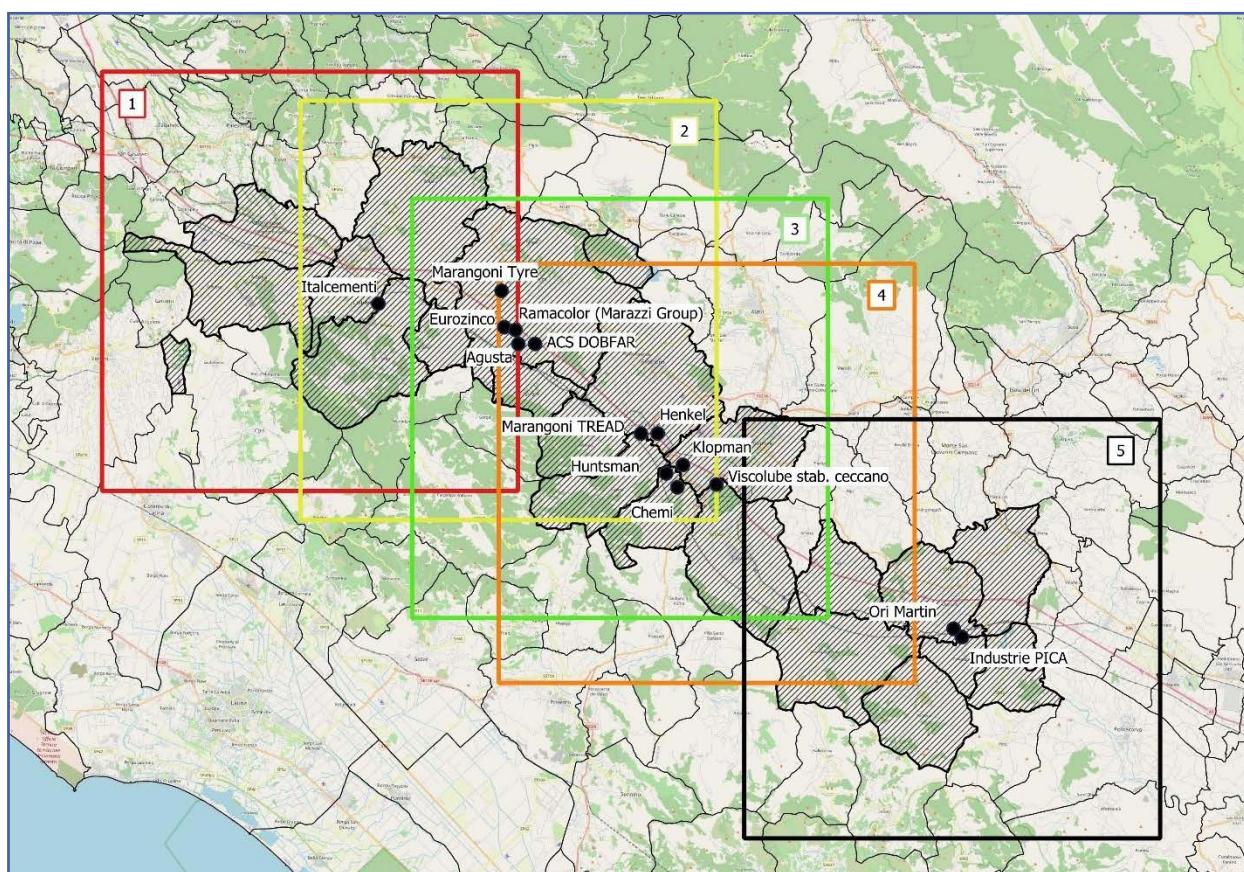
I risultati sono espressi come Hazard Ratios (HR), il rapporto di rischio (di mortalità) tra gli esposti rispetto al gruppo di riferimento (soggetti esposti a valori inferiori al 50° percentile), e relativi intervalli di confidenza al 95% (95%CI).

Le analisi sono state effettuate con il software statistico R.

RISULTATI

Nella figura 1 sono rappresentati i 5 domini di esposizione con i relativi siti industriali. Il dominio 1 è rappresentato da 1 impianto (Italcementi), il dominio 2 da 5 impianti (ACS.DOBFA; Agusta; Eurozinco; MarangoniTyre; Ramacolor), il dominio 3 da 2 impianti (Henkel; Marangoni.TREAD), il dominio 4 da 4 impianti (Chemi; Huntsman; Klopman; Viscolube) e il dominio 5 da 2 impianti (Industrie.PICA; Ori.Martin).

Figura 1. Domini di esposizione degli impianti industriali presenti nel SIN Bacino del Fiume Sacco.



Nella **Tabella 1** sono riportate le caratteristiche della popolazione appartenente a ciascun dominio.

I domini 3 e 4 su cui insiste una popolazione più numerosa, mostrano una maggiore percentuale di popolazione con alti livelli di deprivazione (rispettivamente 18% e 16%), e una maggiore percentuale di popolazione esposta a PM₁₀ (29% e 34%).

Tabella 1. Distribuzione delle caratteristiche individuali e di esito nella popolazione assistita nei 5 domini di analisi durante il periodo in studio (2007-2018).

	Dominio D1	Dominio D2	Dominio D3	Dominio D4	Dominio D5
Popolazione in studio Caratteristiche individuali	N = 78,231	N = 152,464	N = 252,449	N = 261,751	N = 189,127
Età al baseline ¹	38 (20, 56)	38 (20, 57)	39 (21, 58)	38 (20, 57)	40 (21, 59)
Anni persona ^{1*}	12.0 (6.3, 12.0)	11.7 (7.0, 12.0)	12.0 (6.0, 12.0)	12.0 (7.3, 12.0)	11.7 (5.7, 12.0)
Sesso					
Maschi	38,337 (49%)	74,655 (49%)	123,094 (49%)	127,696 (49%)	92,005 (49%)
Femmine	39,894 (51%)	77,809 (51%)	129,355 (51%)	134,055 (51%)	97,122 (51%)
Indice di deprivazione					
1: Bassa deprivazione	2,436 (3.1%)	4,621 (3.0%)	8,600 (3.4%)	7,414 (2.8%)	14,173 (7.5%)
2	12,329 (16%)	29,951 (20%)	46,844 (19%)	47,732 (18%)	52,300 (28%)
3	24,054 (31%)	56,223 (37%)	73,485 (29%)	80,758 (31%)	57,617 (30%)
4	30,937 (40%)	48,537 (32%)	77,518 (31%)	85,189 (33%)	45,278 (24%)
5: Alta deprivazione	8,475 (11%)	13,132 (8.6%)	46,002 (18%)	40,658 (16%)	19,759 (10%)
Esposizione (PM ₁₀)					
<50° pctile	36,747 (47%)	73,612 (48%)	108,475 (43%)	106,503 (41%)	92,807 (49%)
50°-80° pctile	22,548 (29%)	43,542 (29%)	71,821 (28%)	65,736 (25%)	57,937 (31%)
80° pctile	18,936 (24%)	35,310 (23%)	72,153 (29%)	89,512 (34%)	38,383 (20%)
Esiti di mortalità					
Cause naturali	5,882 (7.5%)	12,293 (8.1%)	20,027 (7.9%)	21,848 (8.3%)	15,400 (8.1%)
Cardiovascolari	2,280 (2.9%)	5,173 (3.4%)	9,113 (3.6%)	10,140 (3.9%)	7,448 (3.9%)
Respiratorie	382 (0.5%)	815 (0.5%)	1,280 (0.5%)	1,388 (0.5%)	921 (0.5%)
Tumori maligni	1,839 (2.4%)	3,550 (2.3%)	5,650 (2.2%)	6,105 (2.3%)	4,153 (2.2%)

¹ Median (IQR); n (%): * il numero di anni che ogni soggetto ha trascorso nel follow-up.

Nelle Figure 2-6 sono mostrate le mappe di dispersione per NO_x e PM₁₀ per i 5 domini di esposizione.

Figura 2. Modello di dispersione per inquinante prodotto dagli impianti presenti nel dominio D1 include l'impianto Italcementi di Colleferro ed interessa i Comuni di Colleferro, Gavignano e Segni.

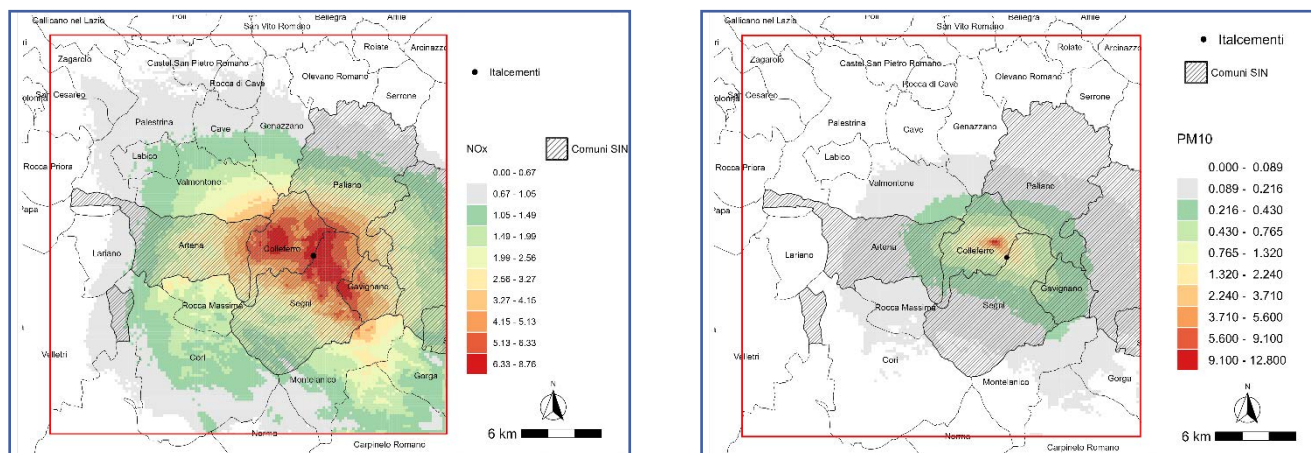


Figura 3. Modello di dispersione per inquinante prodotto dagli impianti presenti nel dominio D2 (ACS Dobfar, Agusta, Eurozinco, Marangoni Tyre e Ramacolor), Comune di Anagni.

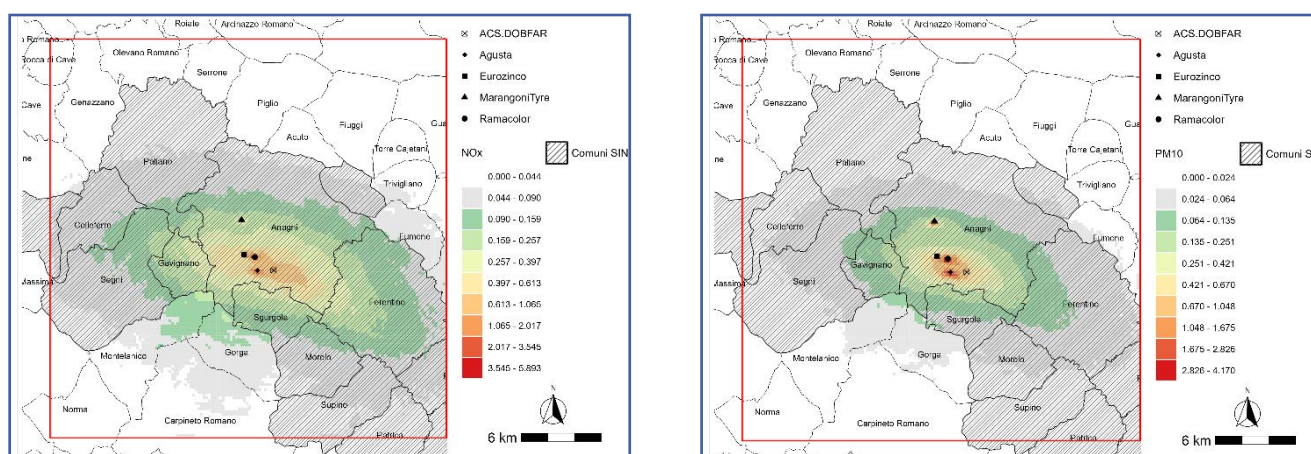


Figura 4. Modello di dispersione per inquinante prodotto dagli impianti presenti nel dominio D3, (Henkel, Marangoni Tread); Comuni di Ferentino e Frosinone.

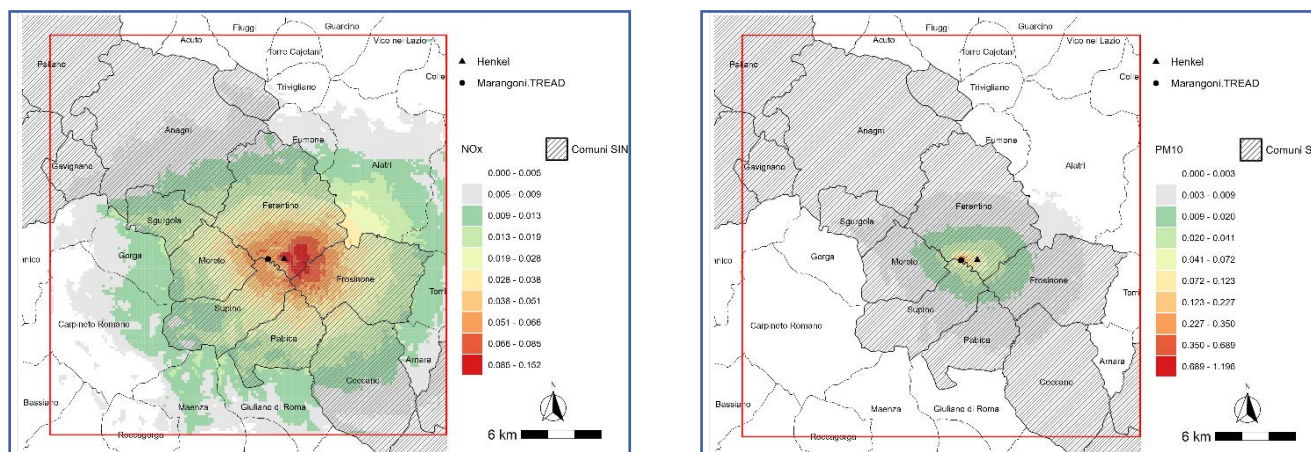


Figura 5. Modello di dispersione per inquinante prodotto dagli impianti presenti nel dominio D4 (Chemi, Huntsman, Klopman e Viscolube); Comuni di Patrica/Frosinone/Ceccano/Supino.

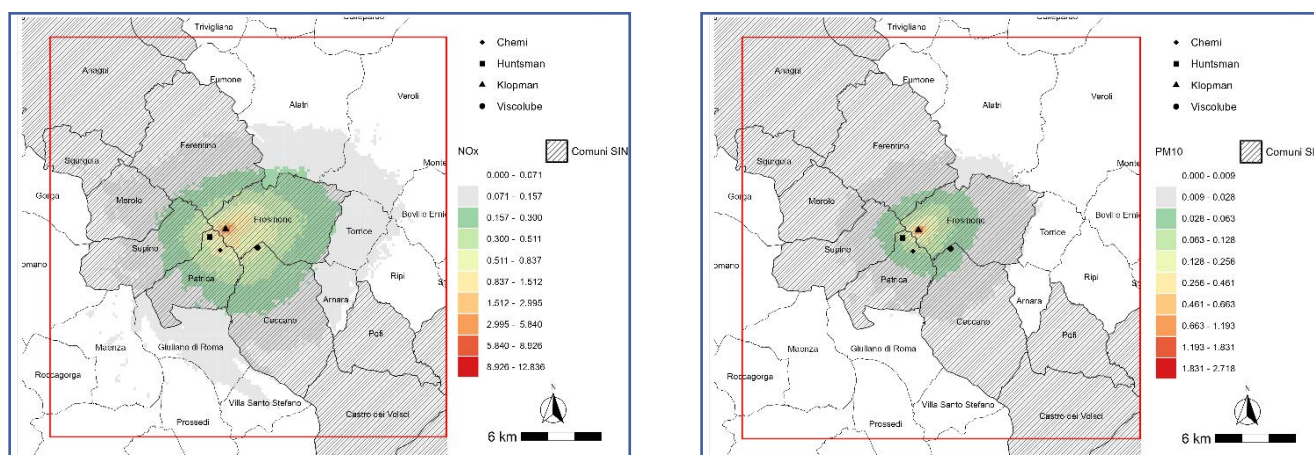
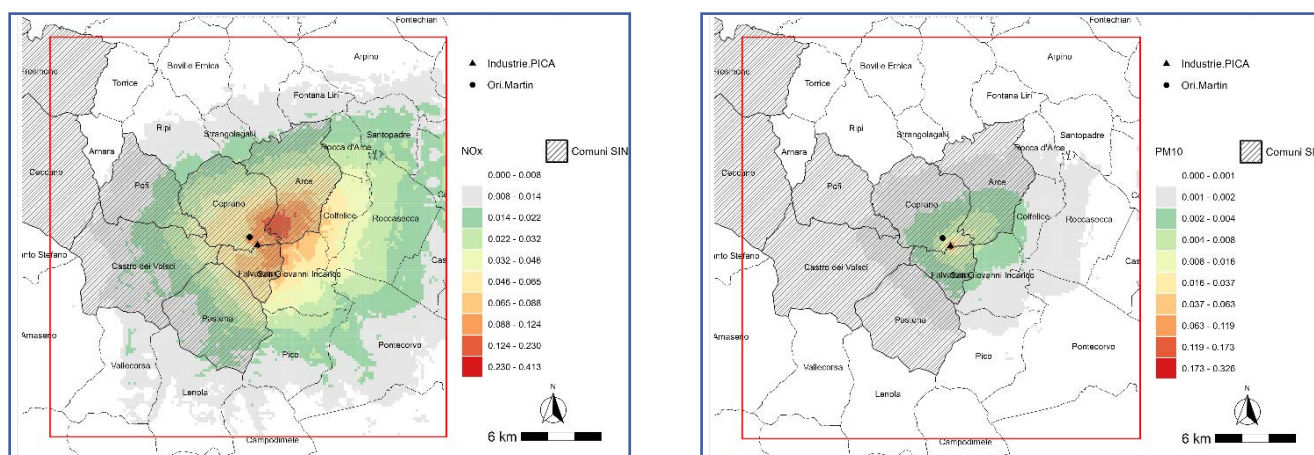


Figura 6. Modello di dispersione per inquinante prodotto dagli impianti presenti nel dominio D5 (Pica e Ori Martin); Comuni di Arce/Ceprano.



RISULTATI PRINCIPALI

Nelle figure 7-10 vengono riportati i risultati per ogni dominio e la stima complessiva della metanalisi per tutti i domini. Nello specifico, vengono riportate le stime di effetto considerando NO_x e PM₁₀ come indicatori di esposizione nei cinque domini e classificando gli esposti in tre livelli: esposizione bassa (0-50° percentile, gruppo di riferimento), esposizione intermedia (50°-80° percentile) ed esposizione alta (>80° percentile).

Per la mortalità totale si osserva un eccesso di rischio nel dominio D3 nei residenti esposti ad alti livelli di inquinamento per PM₁₀, mentre nel dominio D2 e dominio D3 vengono registrati eccessi per i residenti esposti a livelli medio-alti. L'analisi sull'esposizione a NO_x evidenzia un'associazione nei residenti nel dominio D3 esposti a livelli alti di inquinante. Considerando complessivamente tutti i domini (metanalisi) non si osservano eccessi significativi di rischio per esposizione a PM₁₀ ed NO_x per la mortalità non accidentale (**Figura 7**).

Per la mortalità per cause cardiovascolari si osservano incrementi di rischio per i residenti esposti ad alti livelli di PM₁₀ nel dominio D3 e di NO_x nel dominio D4. Si osservano inoltre eccessi di rischio nel dominio D2 e nel dominio D4 per il gruppo con esposizioni intermedie a PM₁₀. Si osserva inoltre un eccesso di rischio nel dominio D2 per esposizione a NO_x nei residenti con livelli intermedi di inquinante. Dai risultati della metanalisi non si evidenziano associazioni di rischio significative (**Figura 8**).

La mortalità per cause respiratorie mostra le stime di effetto più elevate, per esposizione ad alti livelli di PM₁₀, si evidenzia un eccesso nel dominio D2 e nel dominio D5 e un eccesso di rischio per i residenti esposti a livelli intermedi nel dominio D1. L'esposizione a NO_x mostra un eccesso di mortalità per cause respiratorie nel dominio D4 (livello alto e intermedio). Si evidenzia inoltre un'associazione nel dominio D1 e nel dominio D3 per livelli intermedi. Complessivamente dalla metanalisi emerge un'associazione tra esposizione a PM₁₀ e mortalità per cause respiratorie per livelli alti di esposizione (**Figura 9**).

La mortalità per i tumori maligni mostra eccessi elevati per tutti i livelli nel dominio D3 sia per NO_x che per PM₁₀. Si osservano inoltre eccessi di rischio per il PM₁₀ nel dominio D4 per livelli di esposizione alti e intermedi. Gli effetti overall sintetizzati nella metanalisi non evidenziano eccessi di rischio sia per livelli intermedi che per alti livelli di esposizione (**Figura 10**).

Figura 7. Risultati di associazione tra livelli di esposizione a NO_x e PM_{10} e mortalità non accidentale. Metanalisi sugli effetti dell'esposizione nei singoli domini, nella popolazione residente esposta alle concentrazioni di PM_{10} e NO_x in ciascun dominio di analisi. I risultati sono espressi come Hazard Ratio (HR) e relativi intervalli di confidenza al 95% (IC95%) per livello di esposizione (intermedio: $50^\circ\text{-}80^\circ$, alto $>80^\circ$), aggiustati per età, sesso e posizione socio-economica.

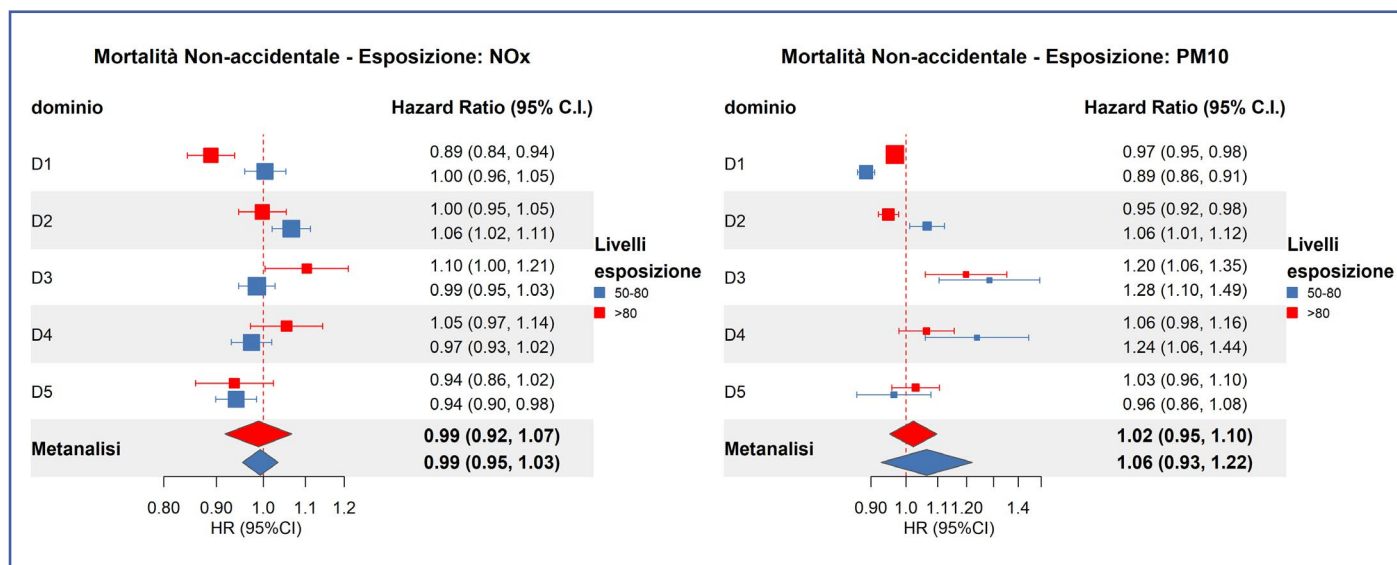


Figura 8. Risultati di associazione tra livelli di esposizione a NO_x e PM_{10} e mortalità cardiovascolare. Metanalisi sugli effetti dell'esposizione nei singoli domini, nella popolazione residente esposta alle concentrazioni di PM_{10} e NO_x in ciascun dominio di analisi. I risultati sono espressi come Hazard ratio (HR) e relativi intervalli di confidenza al 95% (IC95%) per livello di esposizione (intermedio: $50^\circ\text{-}80^\circ$, alto $>80^\circ$), aggiustati per età, sesso e posizione socio-economica.

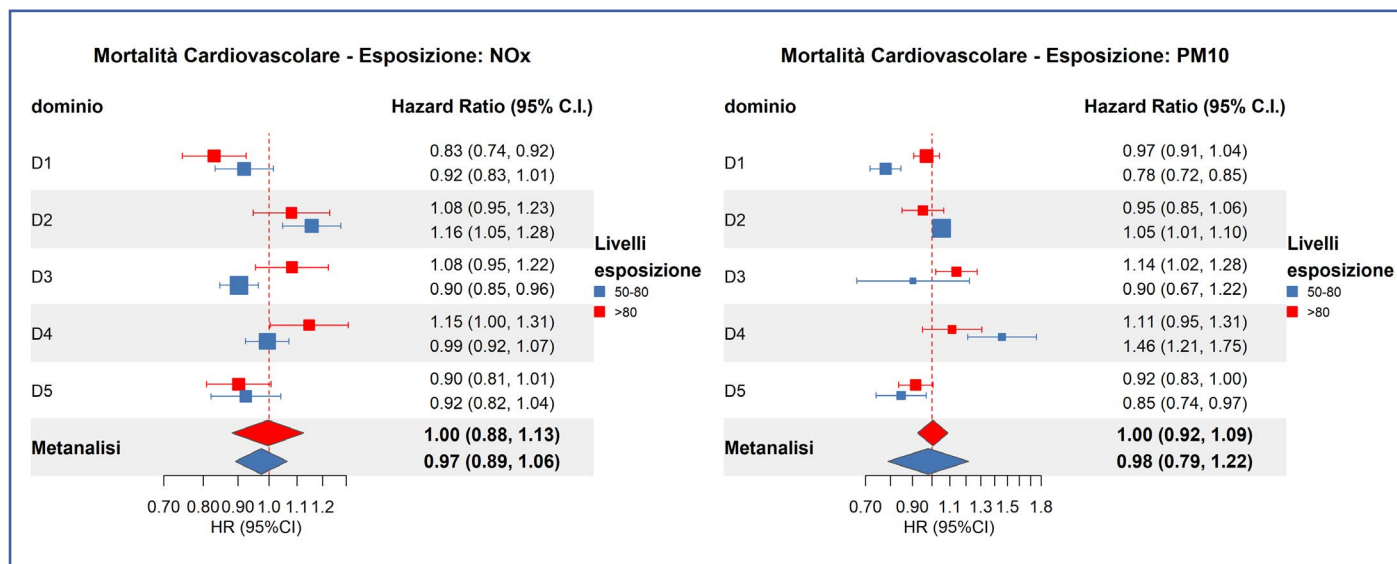


Figura 9. Risultati di associazione tra livelli di esposizione a NO_x e PM_{10} e mortalità respiratoria. Metanalisi sugli effetti dell'esposizione nei singoli domini, nella popolazione residente esposta alle concentrazioni di PM_{10} e NO_x in ciascun dominio di analisi. I risultati sono espressi come Hazard ratio (HR) e relativi intervalli di confidenza al 95% (IC95%) per livello di esposizione (intermedio: $50^\circ\text{-}80^\circ$, alto $>80^\circ$), aggiustati per età, sesso e posizione socio-economica.

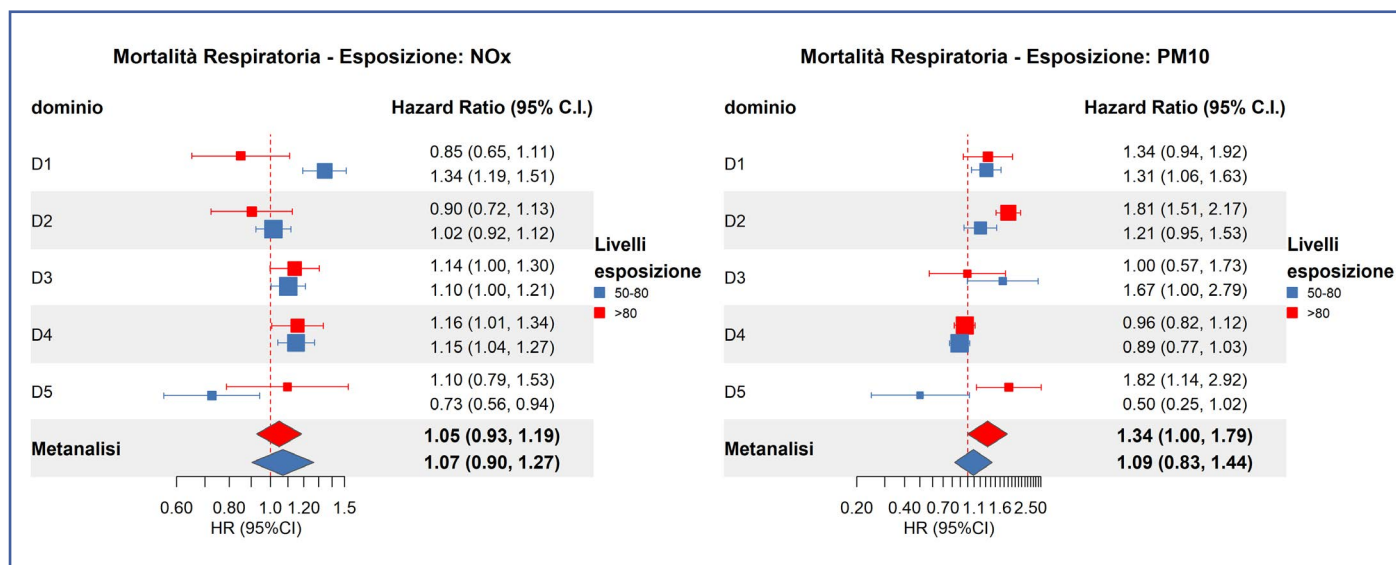
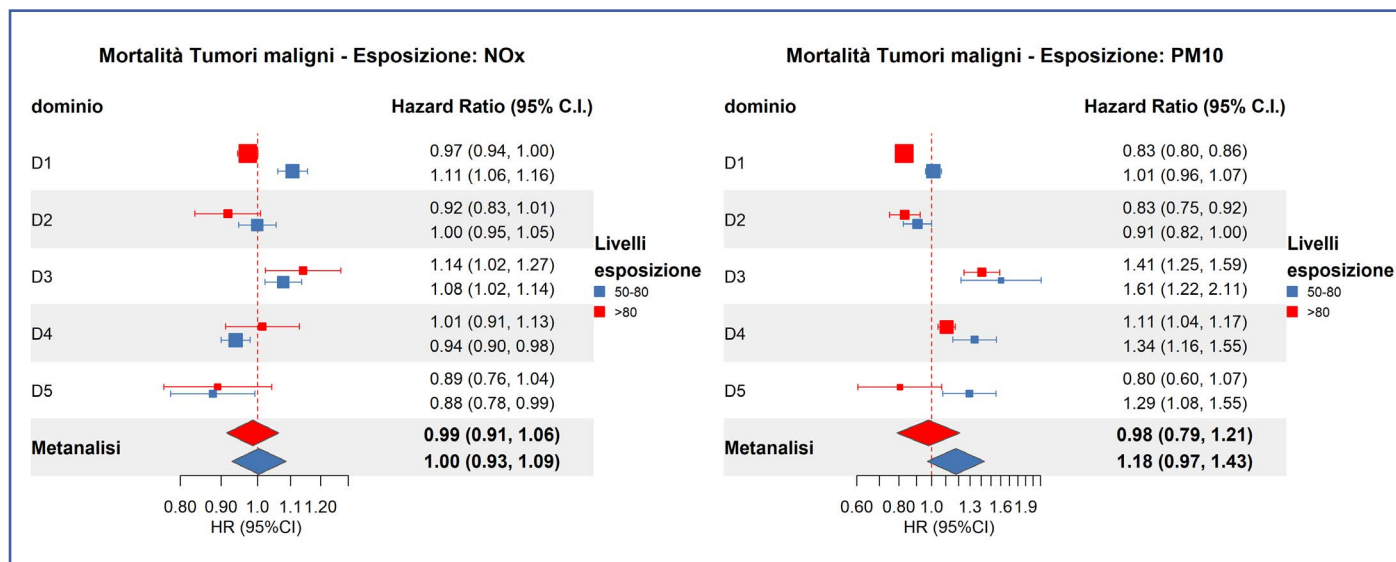


Figura 10. Risultati di associazione tra livelli di esposizione a NO_x e PM_{10} e mortalità tumori maligni. Metanalisi sugli effetti dell'esposizione nei singoli domini, nella popolazione residente esposta alle concentrazioni di PM_{10} e NO_x in ciascun dominio di analisi. I risultati sono espressi come Hazard ratio (HR) e relativi intervalli di confidenza al 95% (IC95%) per livello di esposizione (intermedio: $50^\circ\text{-}80^\circ$, alto $>80^\circ$), aggiustati per età, sesso e posizione socio-economica.



CONCLUSIONI

Lo studio valuta gli effetti cronici associati all'esposizione, all'indirizzo di residenza ad inquinanti industriali tra i residenti in prossimità di 14 impianti industriali presenti nel SIN Bacino del Fiume Sacco.

Per la stima dell'esposizione sono stati utilizzati modelli di dispersione per ognuno di 14 impianti analizzati (**Appendice**). A causa del numero elevato di fonti di emissioni analizzate, della vicinanza tra impianti ed essendo interessati a valutare l'effetto cumulativo dell'esposizione industriale, l'area del SIN è stata suddivisa in 5 domini (aree 30X 30 km). per analizzare l'effetto dei diversi impianti industriali all'interno di ciascun dominio, analizzando sia l'effetto del singolo dominio di analisi che l'effetto cumulativo dei diversi domini sui diversi esiti di salute (mortalità). Nel presente rapporto sono stati analizzati come indicatori di esposizione il PM₁₀ e NOx, unici inquinanti comuni a tutti i domini, ed è stata valutato l'effetto a lungo termine sulla mortalità per cause non accidentali, respiratorie, cardiovascolari e tumorali.

I risultati riportati per ciascun dominio evidenziano eccessi di rischio per entrambi gli inquinanti analizzati sia per livelli di esposizione intermedi che alti. Gli incrementi di rischio più elevati si osservano nella mortalità per cause respiratorie, con un eccesso di rischio significativo complessivamente per tutti i domini (metanalisi) (Esposizione PM₁₀, HR pari a 1.34, IC95%1.00-1.79). Per la mortalità per tumori maligni si evidenziano effetti significativi nel dominio D3 e nel dominio D4 associato ad esposizione a PM₁₀. La caratterizzazione chimica del particolato derivante da impianti industriali è rilevante per quanto riguarda le valutazioni dei rischi per la salute. Il PM₁₀ è costituito principalmente da ioni inorganici (solfati, nitriti, ammonio, sodio, cloruri), da una componente carboniosa (comprendente il Carbonio Organico OC, il Carbonio Elementare EC e gli Idrocarburi Policiclici Aromatici), da materiali della crosta terrestre e da numerosi metalli in tracce (Fonte: ARPA Lazio). Tra i composti organici gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), data la loro comprovata tossicità, sono oggetto di particolare studio. Gli IPA sono un'ampia classe di molecole costituite da due o più anelli benzenici uniti fra loro attraverso coppie di atomi di carbonio condivisi fra anelli adiacenti. La loro presenza nell'ambiente può essere legata sia a fonti antropiche che naturali. La maggior parte degli IPA presenti nell'ambiente ha origine da attività antropiche, principalmente rappresentate da quelle industriali legate alla combustione di combustibili fossili, dagli impianti di produzione dell'energia, dall'impiego e dalla lavorazione di asfalti, dalla pirolisi di plastiche e dal traffico veicolare. Le aree urbane, dove sono presenti elevati livelli di traffico veicolare, sono caratterizzate dalla presenza di IPA. Le emissioni di queste sostanze da parte delle autovetture aumentano con il chilometraggio e il deterioramento del motore. Inoltre i veicoli alimentati con diesel determinano emissioni di IPA nel particolato più alte rispetto ai veicoli alimentati a benzina. Esistono oltre mille diversi IPA, con differenti caratteristiche chimiche e tossicologiche. L'IARC ha classificato 48 IPA in funzione della loro capacità di fungere da induttori tumorali e ha collocato il Benzo[a]pirene (BaP) nella classe 1 (cancerogeno per l'uomo). Il Benzo[a]pirene, vista la sua comprovata tossicità, viene preso come sostanza di riferimento per valutare la concentrazione di IPA nell'aria. Il valore obiettivo del BaP per la protezione della salute umana e dell'ambiente è 1,0 ng/m³ (concentrazione presente nel PM₁₀, calcolato come media su un anno civile). Tale composto (misurato sui filtri di particolato atmosferico, PM₁₀) viene misurato in quattro stazioni 48 nell'agglomerato di Roma (Cinecittà, Francia, Villa Ada, Ciampino e Guidonia fino al 2017), in tre stazioni della Zona Valle del Sacco (Colleferro Europa, Frosinone Scalo, Fontechiari), due della zona appenninica (Rieti e Leonessa) e due della zona litoranea (Civitavecchia, Fiumaretta). Tre sono le stazioni che dal 2009 al 2019 hanno superato il limite di 1,0 ng/m³ come media annuale e sono: Ciampino nell'agglomerato di Roma, Colleferro Europa e Frosinone Scalo nella zona Valle del Sacco. Per Ciampino e Colleferro Europa i valori sono molto prossimi al valore limite di 1,0 ng/m³, mentre per quanto riguarda Frosinone Scalo i valori variano da 1.9 a 3.1 ng/m³, per poi scendere nel 2017 fino a quasi 1,0 ng/m³, ma negli ultimi due anni riportati il valore è ricresciuto fino a sfiorare un'altra volta quello di 3 ng/m³.

In conclusione si evidenziano stime di rischio significative soprattutto all'interno dominio 3 4 e 5, delle aree dove sorgono numerosi impianti industriali. Tali risultati si riferiscono agli effetti sulla mortalità nel periodo 2007-2018 e riguardano esposizioni del passato. È da sottolineare che i livelli di esposizione potrebbero essere modificati nel tempo.

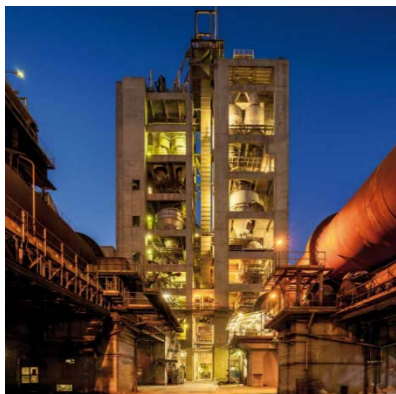
L'analisi condotta nell'ambito del progetto INDACO mostra alcune criticità legate ad aree e stabilimenti specifici all'interno dei comuni afferenti al SIN Bacino del Fiume Sacco. La Valle del Sacco presenta numerosi stabilimenti industriali attivi che quindi necessitano di un monitoraggio nel tempo dello stato di salute della popolazione residente, in particolare approfondendo le criticità di salute emerse in prossimità di diversi impianti. Questi risultati, integrati con quelli relativi alle altre analisi effettuate nell'ambito del progetto INDACO restituiscono un quadro sintetico dello stato di salute della popolazione residente nei comuni del SIN, indispensabili per identificare aree e popolazioni ad elevato rischio su cui programmare interventi di prevenzione.

SCHEDE DEGLI IMPIANTI INCLUSI NEI 5 DOMINI ANALIZZATI

Di seguito le schede degli impianti industriali per i quali sono disponibili i modelli di emissione: descrizione dell'impianto, impronta delle emissioni intorno all'impianto, descrizione della popolazione residente intorno all'impianto.

1. Impianti Dominio 1

ITALCEMENTI



Sorta nel primo dopo guerra, la cementeria di Colleferro fu la prima in Italia a essere destinata a produrre leganti idraulici pozzolanici, valorizzando i giacimenti di pozzolana della zona di Colleferro. Il rapido sviluppo dell'attività della cementeria portò alla costituzione nel 1921 della "Società italiana per la produzione di calce e cementi di Segni", acquistata nel 1972 da Italcementi

Figura 1. Area in studio del dominio 1. Simulazione concentrazioni di NO_x e PM₁₀ dell'impianto Italcementi di Colleferro. Anno di riferimento 2009

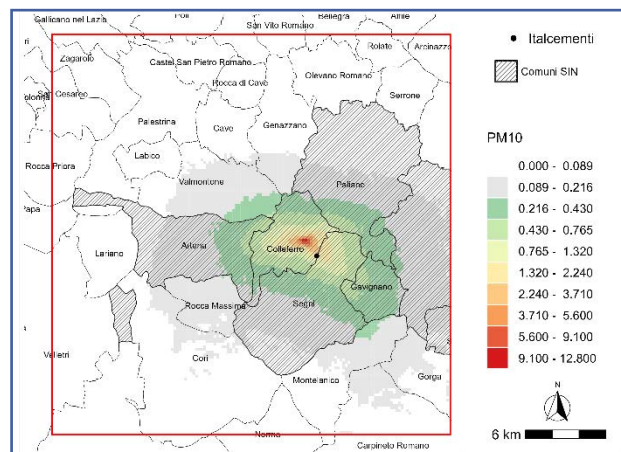
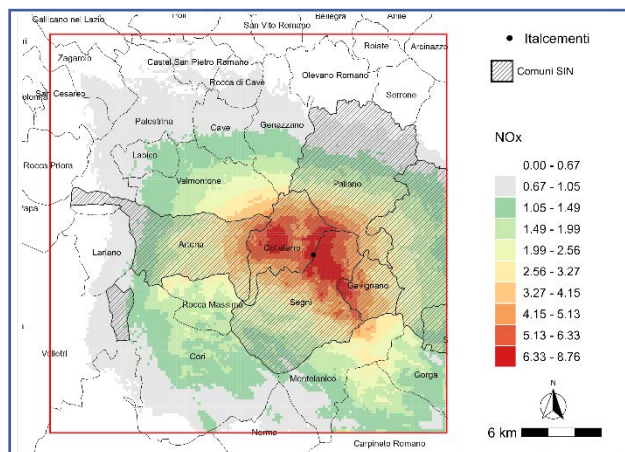


Tabella 1. Descrizione delle caratteristiche sociodemografiche ed esiti di mortalità nella popolazione residente esposta all'impianto Italcementi di Colleferro

	Esposti NOx	Esposti PM ₁₀
Popolazione in studio		
Caratteristiche individuali	N = 64,364¹	N = 39,427¹
Età al baseline	38 (20, 56)	38 (20, 56)
Anni persona	11.7 (6.0, 12.0)	11.7 (6.0, 12.0)
Indice di deprivazione		
1: Bassa deprivazione	1,665 (2.6%)	504 (1.3%)
2	10,962 (17%)	4,970 (13%)
3	19,411 (30%)	13,798 (35%)
4	26,824 (42%)	17,553 (45%)
5: Alta deprivazione	5,502 (8.5%)	2,602 (6.6%)
Sesso		
Maschi	31,448 (49%)	19,166 (49%)
Femmine	32,916 (51%)	20,261 (51%)
Età in classi		
<18	14,739 (23%)	8,913 (23%)
19 - 34	14,422 (22%)	8,629 (22%)
35 - 49	14,759 (23%)	9,148 (23%)
50 - 64	10,498 (16%)	6,467 (16%)
65 - 79	7,521 (12%)	4,704 (12%)
80 +	2,425 (3.8%)	1,566 (4.0%)
Esposti		
<50° pctile	30,577 (47%)	17,764 (45%)
50°-80° pctile	17,430 (27%)	12,093 (31%)
80° pctile+	16,357 (25%)	9,570 (24%)
Esiti di mortalità		
Cause naturali	4,726 (7.3%)	2,921 (7.4%)
Cardiovascolari	1,804 (2.8%)	1,080 (2.7%)
Respiratorie	304 (0.5%)	193 (0.5%)
Tumori maligni	1,491 (2.3%)	944 (2.4%)

¹ Median (IQR); n (%)

2. Impianti Dominio 2

ACS DOBFAR



L'azienda ACS Dobfar è stata fondata nel 1973 e ad oggi impiega più di 3000 dipendenti distribuiti in 23 siti produttivi. Si dedica alla produzione di Antinfettivi Beta-lattamici e Non Beta-lattamici, in particolare Cefalosporine, Carbapenemi e Penicilline.

Figura 2. Area in studio del dominio 2. Simulazione concentrazioni di NO_x dell'impianto Acs Dobfar di Anagni. Anno riferimento 2009.

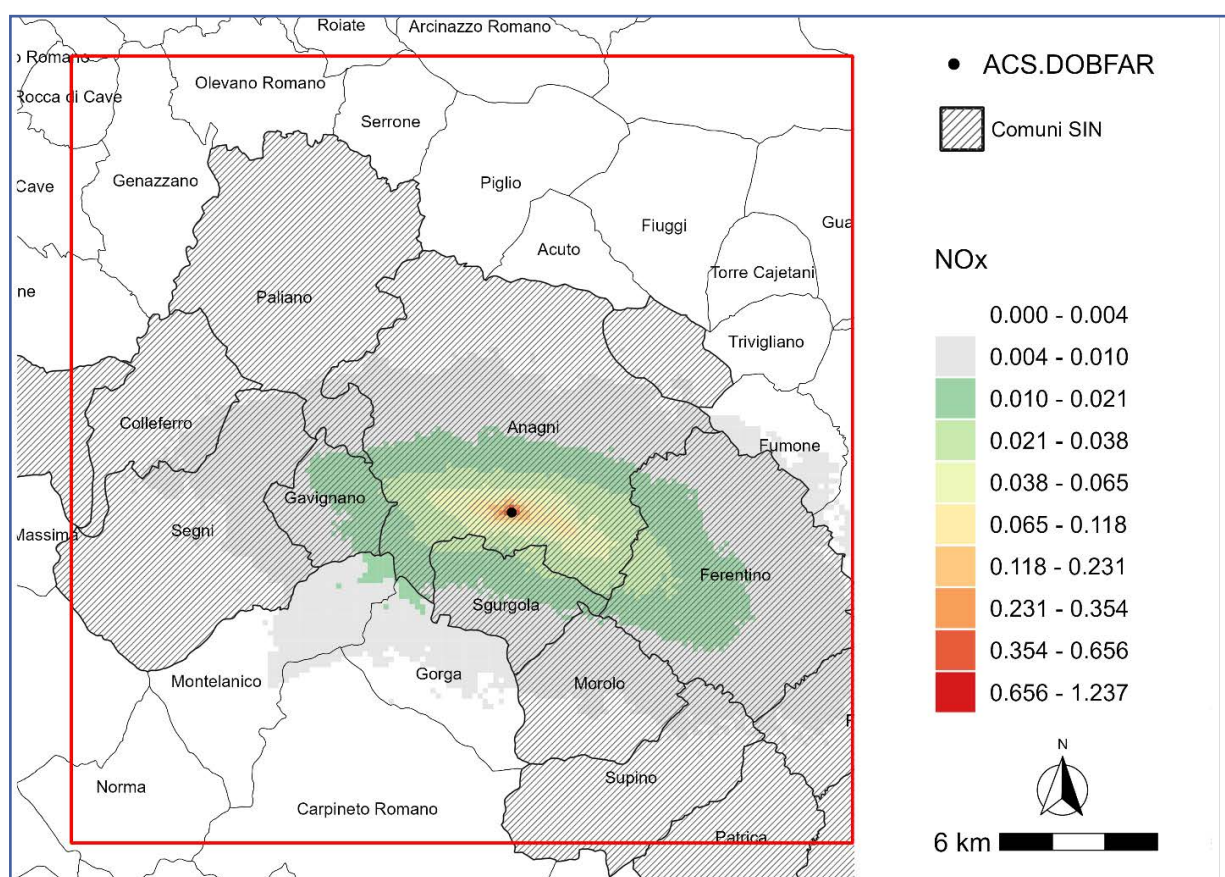


Tabella 2. Descrizione delle caratteristiche sociodemografiche ed esiti di mortalità nella popolazione residente esposta all'impianto Acs Dobfar di Anagni

	Esposti NOx
Popolazione in studio	
Caratteristiche individuali	N = 16,364¹
Età al baseline	37 (19, 55)
Anni persona	8.0 (3.3, 12.0)
Indice di deprivazione	
1: Bassa deprivazione	823 (5.0%)
2	2,393 (15%)
3	5,676 (35%)
4	4,426 (27%)
5: Alta deprivazione	3,046 (19%)
Sesso	
Maschi	8,052 (49%)
Femmine	8,312 (51%)
Età in classi	
<18	3,837 (23%)
19 - 34	3,758 (23%)
35 - 49	3,789 (23%)
50 - 64	2,599 (16%)
65 - 79	1,778 (11%)
80 +	603 (3.7%)
Esposti	
<50° pctlile	7,739 (47%)
50°-80° pctlile	4,972 (30%)
80° pctlile+	3,653 (22%)
Esiti di mortalità	
Cause naturali	871 (5.3%)
Cardiovascolari	385 (2.4%)
Respiratorie	60 (0.4%)
Tumori maligni	242 (1.5%)

¹ Median (IQR); n (%)



Azienda multinazionale italo-britannica, AgustaWestland è nata nel luglio 2000 quando Finmeccanica e GKN hanno fuso le rispettive controllate specializzate nella produzione di elicotteri (Agusta e GKN-Westland Helicopters) per formare AgustaWestland della quale ognuna possedeva il 50% delle azioni. In seguito Finmeccanica ha rilevato la parte di GKN nel 2004 per 1,06 miliardi di sterline. Dal 1° gennaio 2016 le attività di AgustaWestland sono confluite nel settore elicotteri di Finmeccanica, successivamente divenuta la divisione elicotteri di Leonardo.

Figura 3. Area in studio del dominio D2. Simulazione concentrazioni di NO_x e PM₁₀ dell'impianto AgustaWestland di Anagni. Anno riferimento 2015

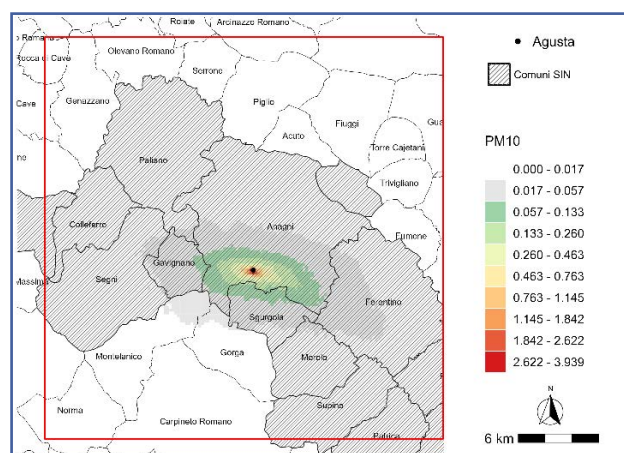
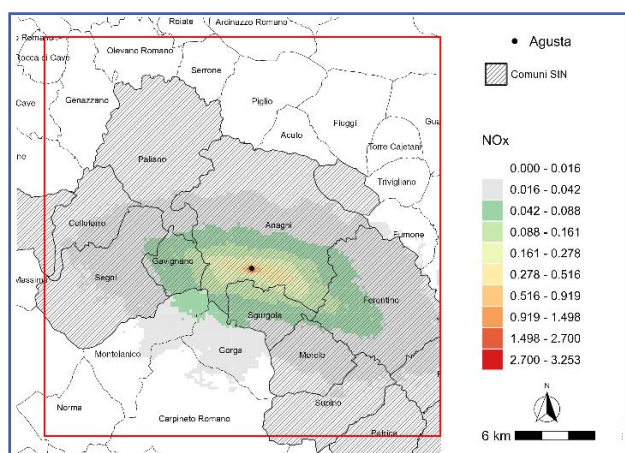


Tabella 3. Descrizione delle caratteristiche sociodemografiche ed esiti di mortalità nella popolazione residente esposta all'impianto Agusta di Anagni

	Esposti NOx	Esposti PM ₁₀
Popolazione in studio		
Caratteristiche individuali	N = 14,032¹	N = 1,704¹
Età al baseline	38 (20, 56)	38 (20, 57)
Anni persona	8.7 (4.0, 12.0)	6.0 (3.0, 9.3)
Indice di deprivazione		
1: Bassa deprivazione	1,129 (8.0%)	244 (14%)
2	1,392 (9.9%)	30 (1.8%)
3	3,664 (26%)	140 (8.2%)
4	3,782 (27%)	389 (23%)
5: Alta deprivazione	4,065 (29%)	901 (53%)
Sesso		
Maschi	6,933 (49%)	843 (49%)
Femmine	7,099 (51%)	861 (51%)
Età in classi		
<18	3,173 (23%)	388 (23%)
19 - 34	3,166 (23%)	393 (23%)
35 - 49	3,187 (23%)	349 (20%)
50 - 64	2,303 (16%)	286 (17%)
65 - 79	1,644 (12%)	206 (12%)
80 +	559 (4.0%)	82 (4.8%)
Esposti		
<50° pctlile	7,173 (51%)	816 (48%)
50°-80° pctlile	3,451 (25%)	345 (20%)
80° pctlile+	3,408 (24%)	543 (32%)
Esiti di mortalità		
Cause naturali	863 (6.2%)	82 (4.8%)
Cardiovascolari	373 (2.7%)	41 (2.4%)
Respiratorie	63 (0.4%)	8 (0.5%)
Tumori maligni	234 (1.7%)	14 (0.8%)

¹ Median (IQR); n (%)



Eurozinco SpA era una fabbrica attiva nel settore siderurgico, nello specifico nella zincatura di strutture metalliche. La società madre Pali Italia SPA ha dichiarato il fallimento con conseguente cessazione dell'attività nel 2015.

Figura 4. Area in studio del dominio 2. Simulazione concentrazioni di NO_x e PM₁₀ dell'impianto Eurozinco di Anagni. Anno riferimento 2009

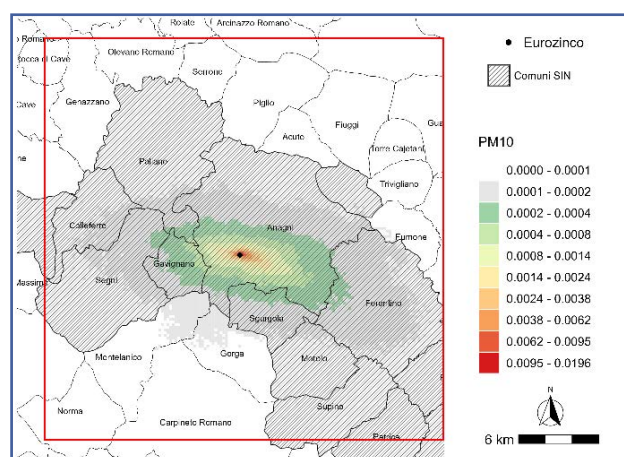
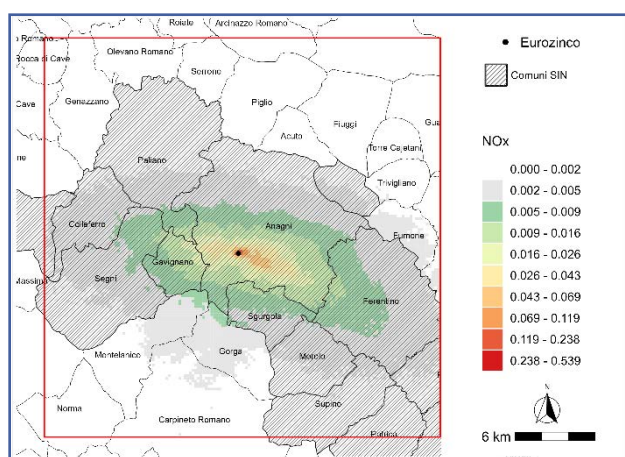


Tabella 4. Descrizione delle caratteristiche sociodemografiche ed esiti di mortalità nella popolazione residente esposta all'impianto Eurozinco di Anagni

	Esposti NOx	Esposti PM ₁₀
Popolazione in studio		
Caratteristiche individuali	N = 41,196¹	N = 12,996¹
Età al baseline	38 (21, 56)	38 (21, 55)
Anni persona	9.0 (4.3, 12.0)	8.3 (4.0, 11.7)
Indice di deprivazione		
1: Bassa deprivazione	1,120 (2.7%)	921 (7.1%)
2	4,870 (12%)	809 (6.2%)
3	15,954 (39%)	1,390 (11%)
4	14,855 (36%)	7,514 (58%)
5: Alta deprivazione	4,397 (11%)	2,362 (18%)
Sesso		
Maschi	20,316 (49%)	6,548 (50%)
Femmine	20,880 (51%)	6,448 (50%)
Età in classi		
<18	9,165 (22%)	2,774 (21%)
19 - 34	9,625 (23%)	3,181 (24%)
35 - 49	9,372 (23%)	2,938 (23%)
50 - 64	6,861 (17%)	2,216 (17%)
65 - 79	4,640 (11%)	1,465 (11%)
80 +	1,533 (3.7%)	422 (3.2%)
Esposti		
<50° pctlile	18,519 (45%)	6,240 (48%)
50°-80° pctlile	13,592 (33%)	4,059 (31%)
80° pctlile+	9,085 (22%)	2,697 (21%)
Esiti di mortalità		
Cause naturali	2,580 (6.3%)	703 (5.4%)
Cardiovascolari	1,108 (2.7%)	296 (2.3%)
Respiratorie	168 (0.4%)	46 (0.4%)
Tumori maligni	727 (1.8%)	196 (1.5%)

¹ Median (IQR); n (%)

MARANGONI TYRE



Nel 1989 viene costituita la società Marangoni Tyre SpA, di proprietà della famiglia Marangoni attiva nel settore dal 1945, per la produzione di pneumatici vettura ad Anagni (Frosinone). Nel 2013 la fabbrica viene chiusa.

Figura 5. Area in studio del dominio 2. Simulazione concentrazioni di NO_x PM₁₀ dell'impianto Marangoni Tyre di Anagni. Anno riferimento 2015

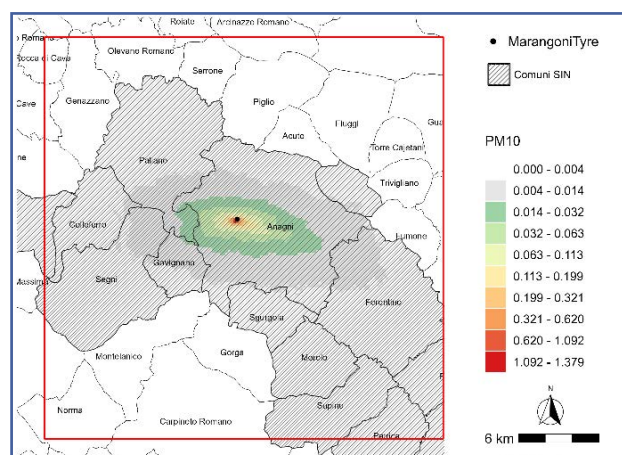
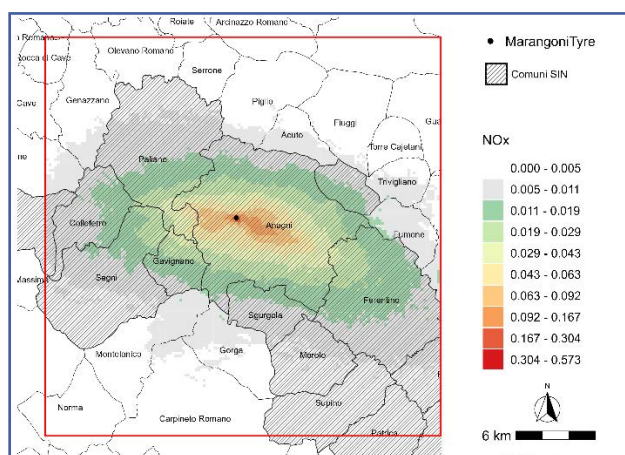


Tabella 5. Descrizione delle caratteristiche sociodemografiche ed esiti di mortalità nella popolazione residente esposta all'impianto Marangoni Tyre di Anagni

	Esposti NOx	Esposti PM ₁₀
Popolazione in studio		
Caratteristiche individuali	N = 78,792¹	N = 21,988¹
Età al baseline	38 (20, 56)	38 (21, 56)
Anni persona	11.7 (6.0, 12.0)	10.3 (5.4, 12.0)
Indice di deprivazione		
1: Bassa deprivazione	1,401 (1.8%)	278 (1.3%)
2	12,706 (16%)	3,163 (14%)
3	32,456 (41%)	6,875 (31%)
4	26,385 (33%)	9,707 (44%)
5: Alta deprivazione	5,844 (7.4%)	1,965 (8.9%)
Sesso		
Maschi	38,431 (49%)	10,826 (49%)
Femmine	40,361 (51%)	11,162 (51%)
Età in classi		
<18	17,802 (23%)	4,839 (22%)
19 – 34	17,878 (23%)	5,238 (24%)
35 – 49	17,507 (22%)	4,721 (21%)
50 – 64	13,204 (17%)	3,814 (17%)
65 – 79	9,394 (12%)	2,595 (12%)
80 +	3,007 (3.8%)	781 (3.6%)
Esposti		
<50° pctile	37,132 (47%)	8,123 (37%)
50°-80° pctile	21,911 (28%)	7,445 (34%)
80° pctile+	19,749 (25%)	6,420 (29%)
Esiti di mortalità		
Cause naturali	5,873 (7.5%)	1,517 (6.9%)
Cardiovascolari	2,471 (3.1%)	669 (3.0%)
Respiratorie	398 (0.5%)	91 (0.4%)
Tumori maligni	1,678 (2.1%)	430 (2.0%)

¹ Median (IQR); n (%)

Figura 6. Area in studio del dominio 2. Simulazione concentrazioni di NOx PM₁₀ dell'impianto Ramacolor di Anagni. Anno riferimento 2009.

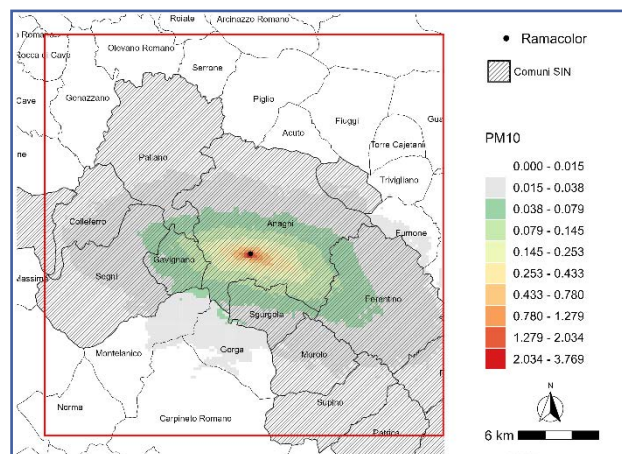
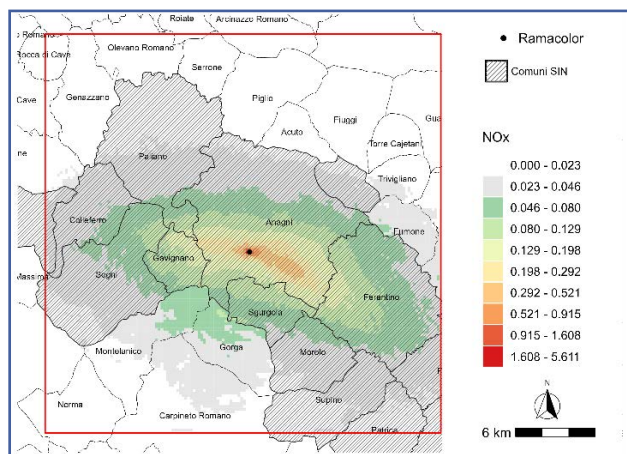


Tabella 6. Descrizione delle caratteristiche sociodemografiche ed esiti di mortalità nella popolazione residente esposta all'impianto Ramacolor di Anagni

	Esposti NO _x	Esposti PM ₁₀
Popolazione in studio		
Caratteristiche individuali	N = 87,187¹	N = 20,793¹
Età al baseline	38 (20, 57)	37 (20, 55)
Anni persona	11.7 (6.0, 12.0)	9.0 (4.0, 12.0)
Indice di deprivazione		
1: Bassa deprivazione	1,479 (1.7%)	957 (4.6%)
2	14,117 (16%)	2,708 (13%)
3	35,158 (40%)	4,201 (20%)
4	29,751 (34%)	9,819 (47%)
5: Alta deprivazione	6,682 (7.7%)	3,108 (15%)
Sesso		
Maschi	42,480 (49%)	10,390 (50%)
Femmine	44,707 (51%)	10,403 (50%)
Età in classi		
<18	19,714 (23%)	4,636 (22%)
19 - 34	19,677 (23%)	4,974 (24%)
35 - 49	19,274 (22%)	4,696 (23%)
50 - 64	14,579 (17%)	3,525 (17%)
65 - 79	10,492 (12%)	2,290 (11%)
80 +	3,451 (4.0%)	672 (3.2%)
Esposti		
<50° pctile	42,036 (48%)	10,350 (50%)
50°-80° pctile	24,619 (28%)	5,753 (28%)
80° pctile+	20,532 (23%)	4,690 (23%)
Esiti di mortalità		
Cause naturali	6,666 (7.6%)	1,165 (5.6%)
Cardiovascolari	2,822 (3.2%)	491 (2.4%)
Respiratorie	445 (0.5%)	76 (0.4%)
Tumori maligni	1,903 (2.2%)	334 (1.6%)

¹ Median (IQR); n (%)

3. Impianti Dominio D3

HENKEL



Fondata nel 1933 con il nome di Società Italiana Persil, Henkel è in Italia da 90 anni. Henkel è presente in Italia con entrambe le sue Divisioni con circa 850 dipendenti e 5 sedi: gli uffici amministrativi di Milano oltre a tre stabilimenti. Lo stabilimento di Ferentino (FR) fa parte della divisione Consumer Brands e dedicato alla produzione di ammorbidenti e detersivi per il bucato e la pulizia dei piatti a mano.

Figura 7. Area in studio del dominio 3. Simulazione concentrazioni di NOx PM₁₀ dell'impianto Henkel di Ferentino. Anno riferimento 2015.

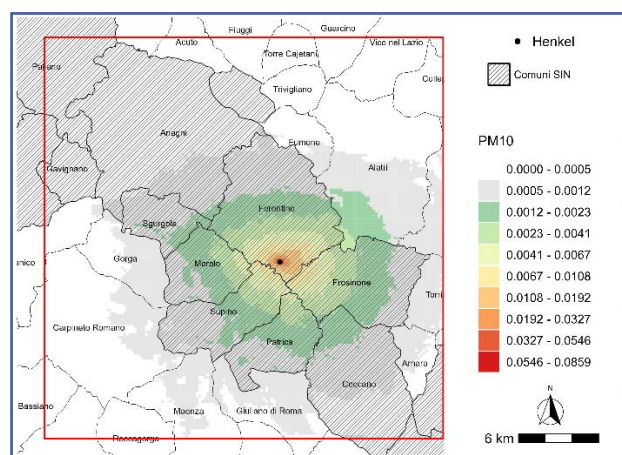
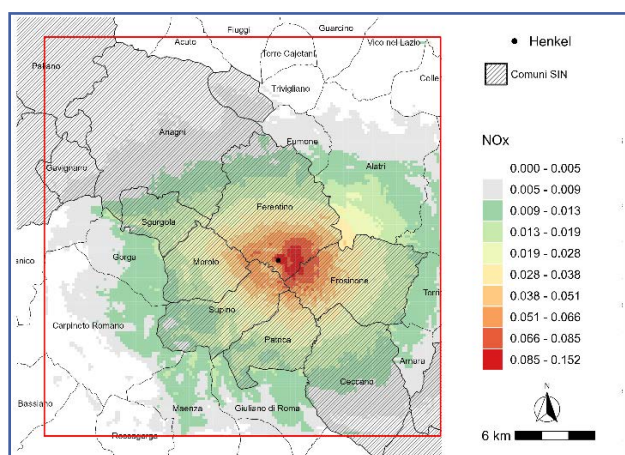


Tabella 7. Descrizione delle caratteristiche sociodemografiche ed esiti di mortalità nella popolazione residente esposta all'impianto Henkel di Ferentino

	Esposti NOx	Esposti PM ₁₀
Popolazione in studio		
Caratteristiche individuali	N = 175,657¹	N = 251,607¹
Età al baseline	40 (22, 59)	39 (21, 58)
Anni persona	11.0 (4.3, 12.0)	12.0 (6.0, 12.0)
Indice di deprivazione		
1: Bassa deprivazione	4,409 (2.5%)	8,577 (3.4%)
2	31,386 (18%)	46,644 (19%)
3	53,603 (31%)	73,020 (29%)
4	48,415 (28%)	77,484 (31%)
5: Alta deprivazione	37,844 (22%)	45,882 (18%)
Sesso		
Maschi	85,127 (48%)	122,696 (49%)
Femmine	90,530 (52%)	128,911 (51%)
Età in classi		
<18	37,297 (21%)	55,973 (22%)
19 - 34	38,543 (22%)	56,002 (22%)
35 - 49	37,509 (21%)	53,655 (21%)
50 - 64	30,550 (17%)	43,100 (17%)
65 - 79	23,119 (13%)	31,577 (13%)
80 +	8,639 (4.9%)	11,300 (4.5%)
Esposti		
<50° pctile	63,562 (36%)	107,358 (43%)
50°-80° pctile	49,794 (28%)	69,425 (28%)
80° pctile+	62,301 (36%)	74,824 (30%)
Esiti di mortalità		
Cause naturali	13,327 (7.6%)	19,948 (7.9%)
Cardiovascolari	6,056 (3.4%)	9,071 (3.6%)
Respiratorie	878 (0.5%)	1,278 (0.5%)
Tumori maligni	3,781 (2.2%)	5,633 (2.2%)

¹ Median (IQR); n (%)



Figura 8. Area in studio del dominio 3. Simulazione concentrazioni di PM_{10} dell'impianto Marangoni Tread di Ferentino. Anno riferimento 2009.

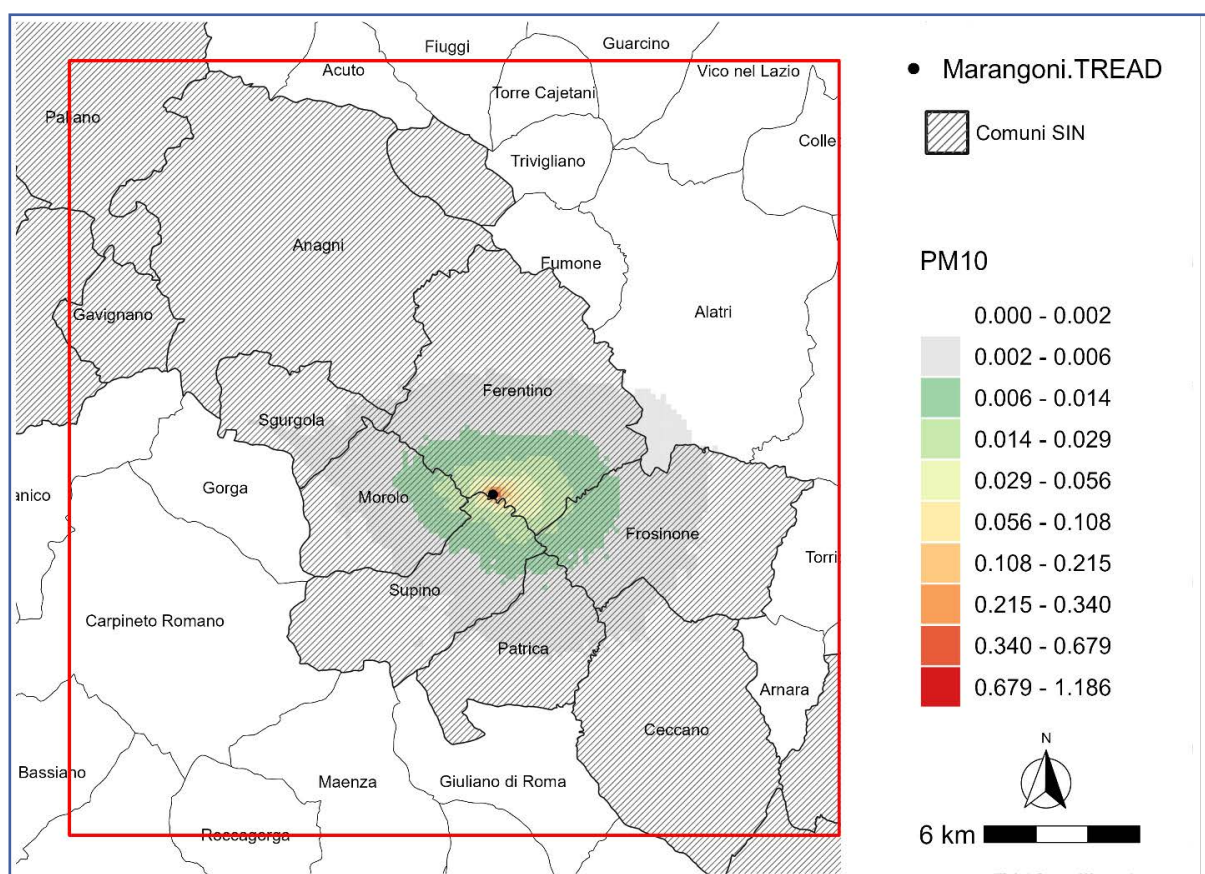


Tabella 8. Descrizione delle caratteristiche sociodemografiche ed esiti di mortalità nella popolazione residente esposta all'impianto Marangoni Tread di Ferentino

	Esposti PM ₁₀
Popolazione in studio	
Caratteristiche individuali	N = 7,182¹
Età al baseline	37 (20, 55)
Anni persona	6.3 (3.7, 11.6)
Indice di deprivazione	
1: Bassa deprivazione	906 (13%)
2	758 (11%)
3	2,709 (38%)
4	2,319 (32%)
5: Alta deprivazione	490 (6.8%)
Sesso	
Maschi	3,556 (50%)
Femmine	3,626 (50%)
Età in classi	
<18	1,662 (23%)
19 - 34	1,677 (23%)
35 - 49	1,626 (23%)
50 - 64	1,162 (16%)
65 - 79	786 (11%)
80 +	269 (3.7%)
Esposti	
<50° pctlile	3,337 (46%)
50°-80° pctlile	2,047 (28%)
80° pctlile+	1,798 (25%)
Esiti di mortalità	
Cause naturali	378 (5.3%)
Cardiovascolari	158 (2.2%)
Respiratorie	27 (0.4%)
Tumori maligni	103 (1.4%)

¹ Median (IQR); n (%)

4. Impianti Dominio D4

CHEMI SPA



Impianto di termovalorizzazione dei reflui di processo nel comune di Patrica (FR)

Figura 9. Area in studio del dominio 4. Simulazione concentrazioni di NO_x e PM₁₀ dell'impianto Chemi Spa di Patrica. Anno riferimento 2009.

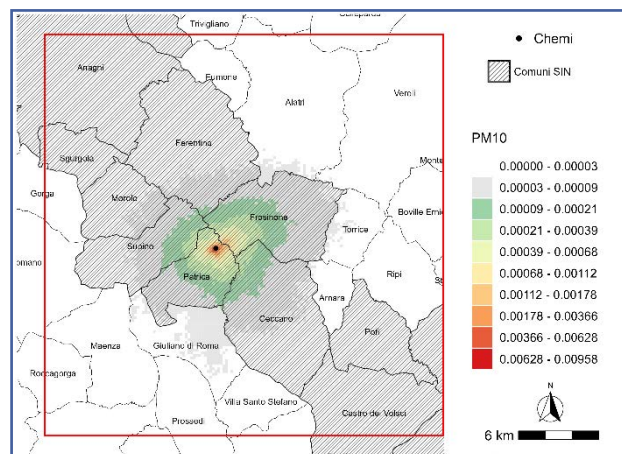
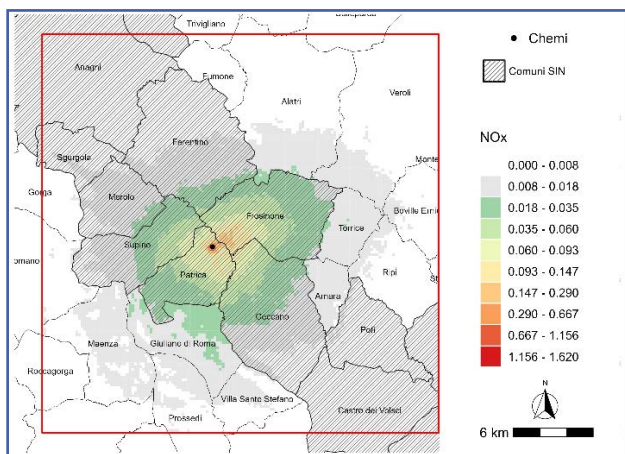


Tabella 9. Descrizione delle caratteristiche sociodemografiche ed esiti di mortalità nella popolazione residente esposta all'impianto Chemi di Patrica

	Esposti NOx	Esposti PM ₁₀
Popolazione in studio		
Caratteristiche individuali	N = 128,545¹	N = 62,616¹
Età al baseline	41 (23, 60)	44 (26, 62)
Anni persona	8.3 (1.7, 12.0)	4.0 (0.3, 10.3)
Indice di deprivazione		
1: Bassa deprivazione	3,659 (2.8%)	786 (1.3%)
2	21,330 (17%)	5,054 (8.1%)
3	32,070 (25%)	5,893 (9.4%)
4	30,284 (24%)	9,202 (15%)
5: Alta deprivazione	41,202 (32%)	41,681 (67%)
Sesso		
Maschi	61,768 (48%)	30,267 (48%)
Femmine	66,777 (52%)	32,349 (52%)
Età in classi		
<18	24,936 (19%)	10,137 (16%)
19 - 34	27,845 (22%)	13,438 (21%)
35 - 49	27,488 (21%)	13,339 (21%)
50 - 64	23,233 (18%)	12,337 (20%)
65 - 79	17,921 (14%)	9,345 (15%)
80 +	7,122 (5.5%)	4,020 (6.4%)
Esposti		
<50° pctile	52,532 (41%)	37,065 (59%)
50°-80° pctile	19,525 (15%)	14,399 (23%)
80° pctile+	56,488 (44%)	11,152 (18%)
Esiti di mortalità		
Cause naturali	8,654 (6.7%)	3,789 (6.1%)
Cardiovascolari	3,863 (3.0%)	1,750 (2.8%)
Respiratorie	578 (0.4%)	268 (0.4%)
Tumori maligni	2,561 (2.0%)	1,084 (1.7%)

¹ Median (IQR); n (%)

Figura 10. Area in studio del dominio 4. Simulazione concentrazioni di NOx dell'impianto Huntsman di Patrica. Anno riferimento 2009.

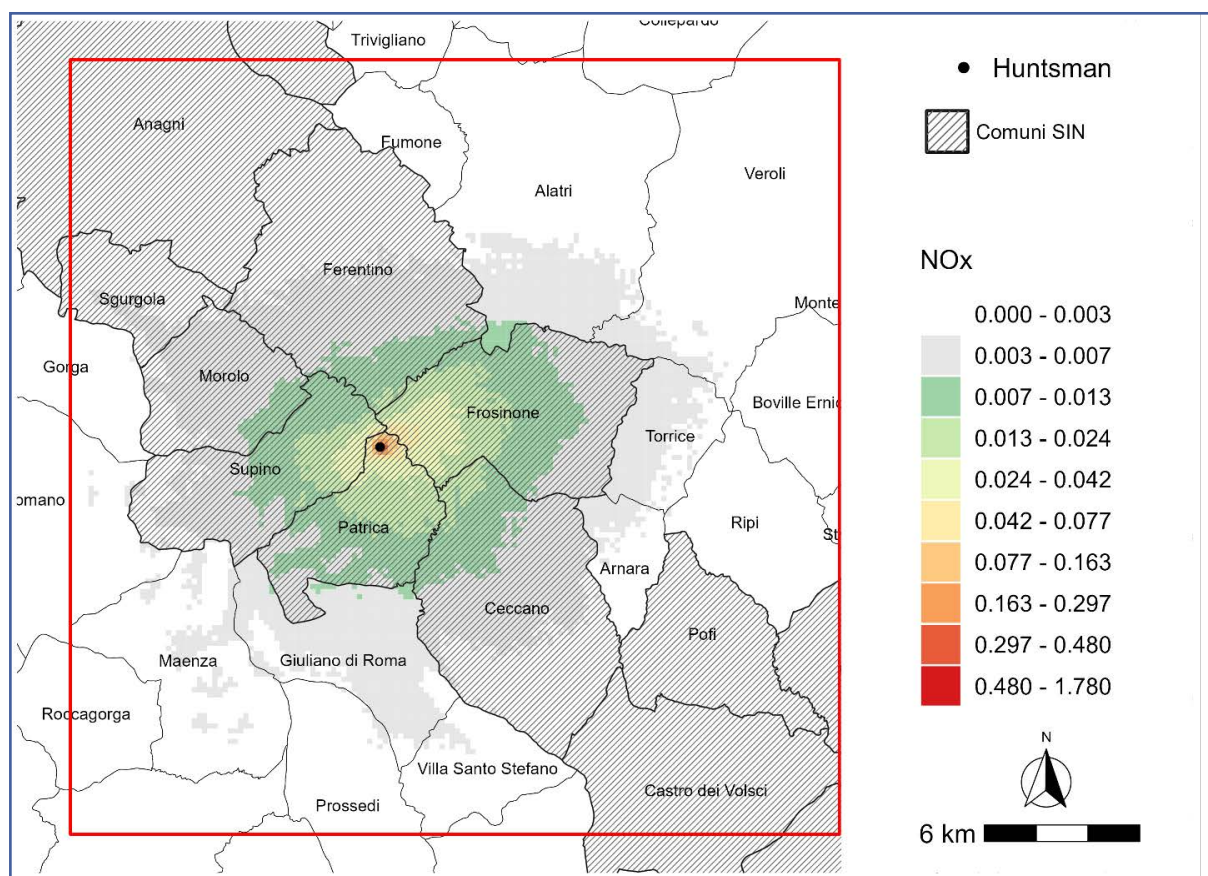


Tabella 10. Descrizione delle caratteristiche sociodemografiche ed esiti di mortalità nella popolazione residente esposta all'impianto Huntsman di Patrica

	Esposti NOx
Popolazione in studio	
Caratteristiche individuali	N = 106,613¹
Età al baseline	42 (24, 61)
Anni persona	6.0 (1.0, 12.0)
Indice di deprivazione	
1: Bassa deprivazione	2,600 (2.4%)
2	15,941 (15%)
3	25,403 (24%)
4	23,351 (22%)
5: Alta deprivazione	39,318 (37%)
Sesso	
Maschi	51,041 (48%)
Femmine	55,572 (52%)
Età in classi	
<18	19,507 (18%)
19 - 34	22,862 (21%)
35 - 49	22,696 (21%)
50 - 64	19,778 (19%)
65 - 79	15,331 (14%)
80 +	6,439 (6.0%)
Esposti	
<50	44,417 (42%)
50-80	42,070 (39%)
>80	20,126 (19%)
Esiti di mortalità	
Cause naturali	6,906 (6.5%)
Cardiovascolari	3,105 (2.9%)
Respiratorie	469 (0.4%)
Tumori maligni	2,002 (1.9%)

¹ Median (IQR); n (%)



Nel 1967 Klopman introdusse in Europa il concetto di tessuti in poliestere/cotone per indumenti da lavoro. Da allora, dalla sua sede a Frosinone, l'azienda è cresciuta fino a diventare il principale produttore europeo di tessuti speciali per indumenti di protezione, capi aziendali e indumenti da lavoro. Klopman ha sede produttiva a Frosinone (Italia) con 70mila mq di stabilimento.

Figura 11. Area in studio del dominio 4. Simulazione concentrazioni di NO_x e PM₁₀ dell'impianto Klopman di Frosinone. Anno riferimento 2009.

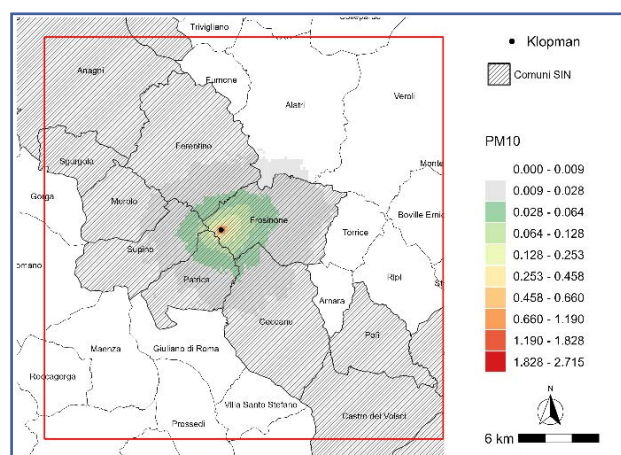
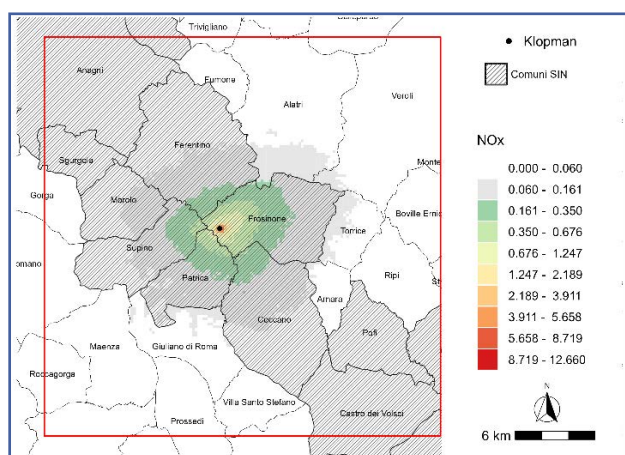


Tabella 11. Descrizione delle caratteristiche sociodemografiche ed esiti di mortalità nella popolazione residente esposta all'impianto Klopman di Frosinone

	Esposti NOx	Esposti PM ₁₀
Popolazione in studio		
Caratteristiche individuali	N = 78,248¹	N = 49,305¹
Età al baseline	43 (26, 62)	45 (28, 64)
Anni persona	4.0 (0.3, 10.3)	2.3 (0.3, 8.0)
Indice di deprivazione		
1: Bassa deprivazione	1,218 (1.6%)	343 (0.7%)
2	7,423 (9.5%)	967 (2.0%)
3	14,105 (18%)	2,740 (5.6%)
4	13,785 (18%)	4,620 (9.4%)
5: Alta deprivazione	41,717 (53%)	40,635 (82%)
Sesso		
Maschi	37,596 (48%)	23,766 (48%)
Femmine	40,652 (52%)	25,539 (52%)
Età in classi		
<18	13,086 (17%)	7,080 (14%)
19 - 34	16,578 (21%)	10,244 (21%)
35 - 49	16,561 (21%)	10,385 (21%)
50 - 64	15,137 (19%)	10,044 (20%)
65 - 79	11,736 (15%)	7,947 (16%)
80 +	5,150 (6.6%)	3,605 (7.3%)
Esposti		
<50	30,895 (39%)	1,556 (0%)
50-80	449 (0%)	39,413 (80%)
>80	46,904 (60%)	8,336 (17%)
Esiti di mortalità		
Cause naturali	4,396 (5.6%)	2,873 (5.8%)
Cardiovascolari	2,002 (2.6%)	1,370 (2.8%)
Respiratorie	303 (0.4%)	190 (0.4%)
Tumori maligni	1,268 (1.6%)	798 (1.6%)

¹ Median (IQR); n (%)



Viscolube è una delle maggiori aziende di rigenerazione di oli usati in Italia -, rientra tra i 128 siti contaminati della provincia. Secondo i dati di Arpa Lazio le analisi del sito Viscolube hanno evidenziato sul bacino di "landfarming" (ovvero sul terreno dove l'azienda sta effettuando la bonifica di terreni inquinati asportati dall'interno del sito industriale, tramite la tecnica "landfarming", ndr), la concentrazione di "idrocarburi pesanti" maggiore del 368% rispetto al valore previsto e nelle acque di falda è stata riscontrata una elevata concentrazione di inquinanti sia nei piezometri nel sito che in quelli posti a valle idrogeologica della barriera idraulica. Nel 2001 ha acquisito da ENI l'impianto di rigenerazione di Ceccano e, mediante una gestione efficiente accompagnata da importanti investimenti, ha accresciuto la capacità produttiva dei propri stabilimenti, fino a divenire la principale azienda di rigenerazione di oli usati in Italia. Assorbita nel 2019 dalla società ITELYUM, è coinvolta nel processo di rigenerazione degli oli lubrificanti usati, la produzione di solventi puri e da reflui chimici e nei servizi ambientali per l'industria.

Figura 12. Area in studio del dominio 4. Simulazione concentrazioni di NO_x e PM₁₀ dell'impianto Viscolube di Ceccano. Anno riferimento 2009.

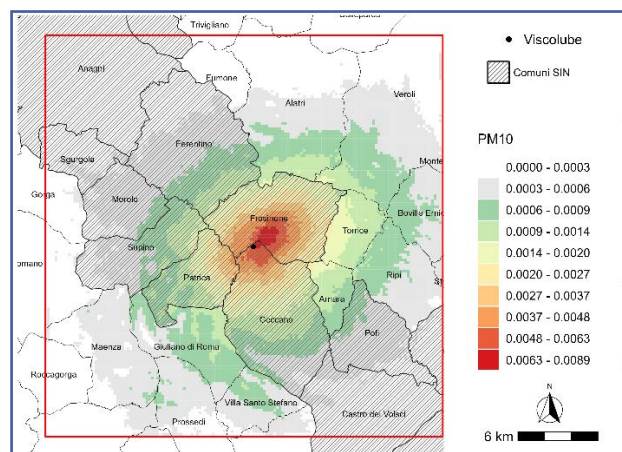
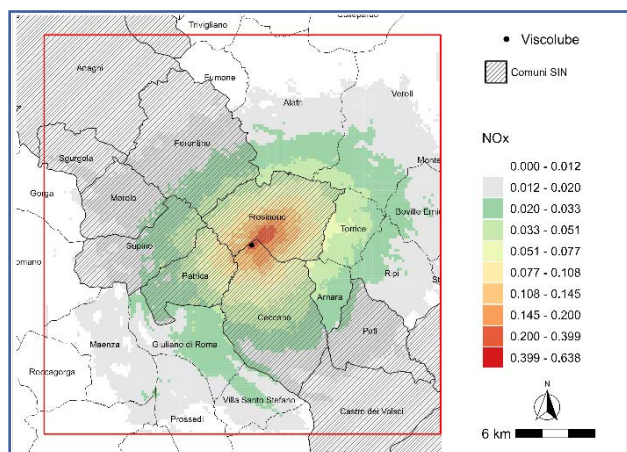


Tabella 12. Descrizione delle caratteristiche sociodemografiche ed esiti di mortalità nella popolazione residente esposta all'impianto Viscolube di Ceccano

	Esposti NOx	Esposti PM ₁₀
Popolazione in studio		
Caratteristiche individuali	N = 166,184¹	N = 171,073¹
Età al baseline	40 (22, 59)	40 (22, 59)
Anni persona	10.7 (4.0, 12.0)	11.0 (4.3, 12.0)
Indice di deprivazione		
1: Bassa deprivazione	5,582 (3.4%)	5,760 (3.4%)
2	31,527 (19%)	32,908 (19%)
3	47,871 (29%)	50,227 (29%)
4	43,920 (26%)	45,549 (27%)
5: Alta deprivazione	37,284 (22%)	36,629 (21%)
Sesso		
Maschi	80,301 (48%)	82,759 (48%)
Femmine	85,883 (52%)	88,314 (52%)
Età in classi		
<18	34,901 (21%)	36,207 (21%)
19 - 34	36,438 (22%)	37,625 (22%)
35 - 49	35,505 (21%)	36,445 (21%)
50 - 64	29,095 (18%)	29,925 (17%)
65 - 79	21,977 (13%)	22,452 (13%)
80 +	8,268 (5.0%)	8,419 (4.9%)
Esposti		
<50° pctile	54,733 (33%)	56,483 (33%)
50°-80° pctile	54,666 (33%)	55,686 (33%)
80° pctile+	56,785 (34%)	58,904 (34%)
Esiti di mortalità		
Cause naturali	12,415 (7.5%)	12,888 (7.5%)
Cardiovascolari	5,659 (3.4%)	5,872 (3.4%)
Respiratorie	803 (0.5%)	834 (0.5%)
Tumori maligni	3,589 (2.2%)	3,723 (2.2%)

¹ Median (IQR); n (%)

5. Impianti Dominio 5

Industrie PICA

Figura 13. Area in studio del dominio 5. Simulazione concentrazioni di NO_x e PM₁₀ dell'impianto Pica di Ceprano. Anno riferimento 2009.

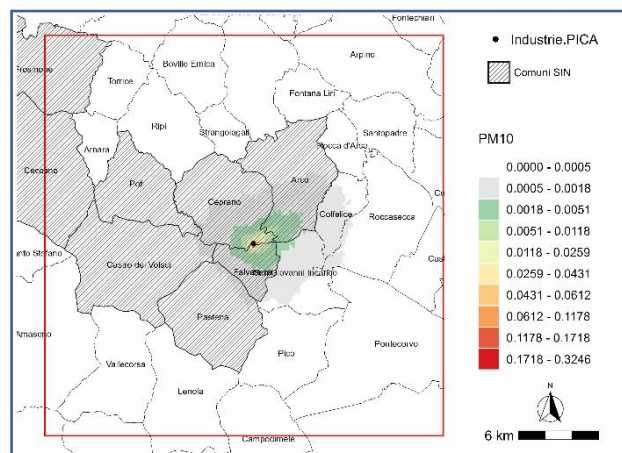
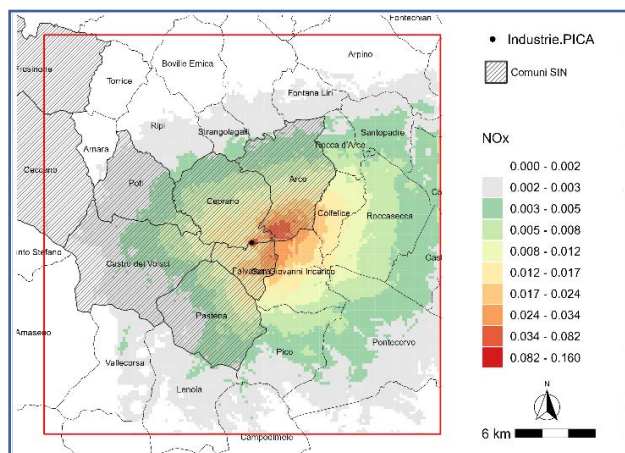


Tabella 13. Descrizione delle caratteristiche sociodemografiche ed esiti di mortalità nella popolazione residente esposta all'impianto Pica di Ceprano

	Esposti NOx	Esposti PM ₁₀
Popolazione in studio		
Caratteristiche individuali	N = 52,632¹	N = 2,405¹
Età al baseline	40 (22, 59)	41 (22, 60)
Anni persona	11.7 (6.0, 12.0)	10.0 (4.0, 12.0)
Indice di deprivazione		
1: Bassa deprivazione	4,576 (8.7%)	281 (12%)
2	19,014 (36%)	1,095 (46%)
3	15,092 (29%)	414 (17%)
4	7,923 (15%)	157 (6.5%)
5: Alta deprivazione	6,027 (11%)	458 (19%)
Sesso		
Maschi	25,776 (49%)	1,198 (50%)
Femmine	26,856 (51%)	1,207 (50%)
Età in classi		
<18	10,861 (21%)	516 (21%)
19 - 34	11,406 (22%)	472 (20%)
35 - 49	11,005 (21%)	514 (21%)
50 - 64	9,188 (17%)	434 (18%)
65 - 79	7,370 (14%)	362 (15%)
80 +	2,802 (5.3%)	107 (4.4%)
Esposti		
<50° pctlile	29,018 (55%)	1,094 (45%)
50°-80° pctlile	14,438 (27%)	819 (34%)
80° pctlile+	9,176 (17%)	492 (20%)
Esiti di mortalità		
Cause naturali	4,776 (9.1%)	186 (7.7%)
Cardiovascolari	2,315 (4.4%)	76 (3.2%)
Respiratorie	285 (0.5%)	22 (0.9%)
Tumori maligni	1,232 (2.3%)	41 (1.7%)

¹ Median (IQR); n (%)



Fondata nel 1933 O.R.I. Martin Spa è oggi una moderna acciaieria a forno elettrico che produce acciai speciali destinati alle diverse applicazioni principalmente del settore automotive (bulloneria, molle sospensione, barre di torsione, componenti dello sterzo e della trasmissione), meccanica, energia e costruzioni. L'azienda è inoltre dotata di moderni impianti per il trattamento termico di ricottura e bonifica barre e rotoli e presso Trafilati Martin Spa, di impianti per il decapaggio chimico e la sabbiatura dei rotoli.

Figura 14. Area in studio del dominio 5. Simulazione concentrazioni di NO_x PM_{10} dell'impianto Ori Martin di Ceprano. Anno riferimento 2015.

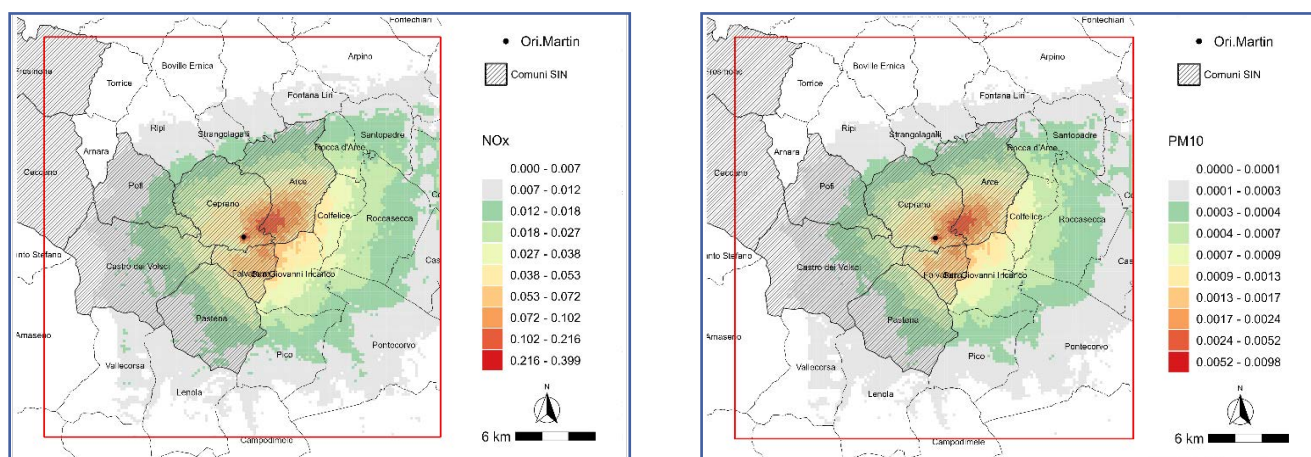


Tabella 14. Descrizione delle caratteristiche sociodemografiche ed esiti di mortalità nella popolazione residente esposta all'impianto Ori Martin di Ceprano

	Esposti NOx	Esposti PM ₁₀
Popolazione in studio		
Caratteristiche individuali	N = 45,786¹	N = 40,517¹
Età al baseline	41 (22, 60)	41 (22, 60)
Anni persona	11.7 (6.3, 12.0)	11.7 (6.1, 12.0)
Indice di deprivazione		
1: Bassa deprivazione	4,787 (10%)	4,432 (11%)
2	15,808 (35%)	14,230 (35%)
3	13,824 (30%)	12,949 (32%)
4	7,660 (17%)	6,164 (15%)
5: Alta deprivazione	3,707 (8.1%)	2,742 (6.8%)
Sesso		
Maschi	22,406 (49%)	19,804 (49%)
Femmine	23,380 (51%)	20,713 (51%)
Età in classi		
<18	9,481 (21%)	8,420 (21%)
19 - 34	9,731 (21%)	8,633 (21%)
35 - 49	9,573 (21%)	8,453 (21%)
50 - 64	7,931 (17%)	6,994 (17%)
65 - 79	6,571 (14%)	5,812 (14%)
80 +	2,499 (5.5%)	2,205 (5.4%)
Esposti		
<50° pctile	26,051 (57%)	23,323 (58%)
50°-80° pctile	11,884 (26%)	10,013 (25%)
80° pctile+	7,851 (17%)	7,181 (18%)
Esiti di mortalità		
Cause naturali	4,257 (9.3%)	3,796 (9.4%)
Cardiovascolari	2,071 (4.5%)	1,864 (4.6%)
Respiratorie	253 (0.6%)	221 (0.5%)
Tumori maligni	1,104 (2.4%)	968 (2.4%)

¹ Median (IQR); n (%)

BIBLIOGRAFIA

1. SENTIERI - Studio epidemiologico nazionale dei territori e degli insediamenti esposti a rischio da inquinamento. Sesto Rapporto. Epidemiologia&Prevenzione, <https://epiprev.it/6115>
2. Rapporto PROGETTO INDACO "Valutazione degli effetti dell'inquinamento atmosferico e dello stato socio-economico sulla mortalità causa-specifica nel SIN Bacino del Fiume Sacco e nella provincia di Frosinone: uno studio di coorte amministrativa
3. Vrijheid M, Dolk H, Armstrong B, Boschi G, Busby A, Jorgensen T, et al. Hazard potential ranking of hazardous waste landfill sites and risk of congenital anomalies. *Occup Environ Med.* 2002;59(11):768–76.
4. Rzymiski P, Tomczyk K, Rzymiski P, Poniedziałek B, Opala T, Wilczak M. Impact of heavy metals on the female reproductive system. *Ann Agric Environ Med.* 2015;22(2):259–64
5. Vrijheid M. Health effects of residence near hazardous waste landfill sites: A review of epidemiologic literature. *Environ Health Perspect.* 2000;108(SUPPL. 1):101–12
6. Brender JD, Maantay JA, Chakraborty J. Residential proximity to environmental hazards and adverse health outcomes. *Am J Public Health.* 2011;101(SUPPL. 1):37–52.
7. Kihal-Talantikite W, Zmirou-Navier D, Padilla C, Deguen S. Systematic literature review of reproductive outcome associated with residential proximity to polluted sites. Vol. 16, *International Journal of Health Geographics.* BioMed Central; 2017.
8. Martuzzi M, Pasetto R, Martin-Olmedo P. Industrially contaminated sites and health. *J Environ Public Health.* 2014; 2014:2–4.
9. Tinarelli G, Anfossi D, Trini Castelli S, Bider M, Ferrero E, A New High Performance Version of the Lagrangian Particle Dispersion Model Spray, Some Case Studies, *Air Pollut. Model. Its Appl.* XIII. (2000) 499–507. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4153-0_51.
10. Nanni A, Tinarelli G, Solisio C, Pozzi C, Comparison between Puff and Lagrangian Particle Dispersion Models at a Complex and Coastal Site, *Atmosphere (Basel).* 13 (2022) 508. <https://doi.org/10.3390/ATMOS13040508/S1>.
11. Silibello C, Bolignano A, Sozzi R, Gariazzo C, Application of a chemical transport model and optimized data assimilation methods to improve air quality assessment, *Air Qual. Atmos. Health.* 7 (2014) 283–296. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s11869-014-0235-1>.
12. Finardi S, Tinarelli G, Faggian P, Brusasca G, Evaluation of different wind field modeling techniques for wind energy applications over complex topography, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 74–76 (1998) 283–294. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(98\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(98)00025-7).

APPENDICE RAPPORTO IMPIANTI INDUSTRIALI. VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SULLA MORTALITÀ CAUSA-SPECIFICA DEI PRINCIPALI IMPIANTI INDUSTRIALI NEL SIN BACINO DEL FIUME SACCO: UNO STUDIO DI COORTE AMMINISTRATIVA

Figura1. Area di riferimento: Dominio 1. Simulazioni medie-annue impianto Italcementi, per CO, HN_3 , NMVOC, NO_x , PM_{10} , SO_2

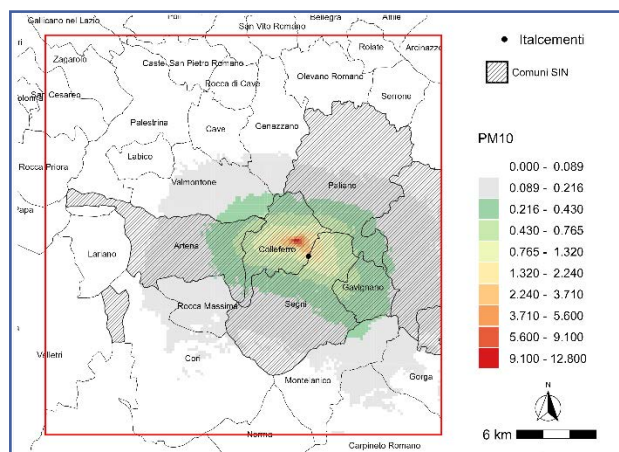
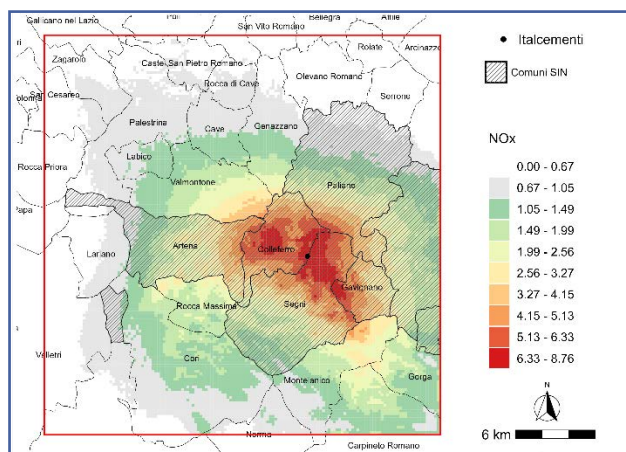
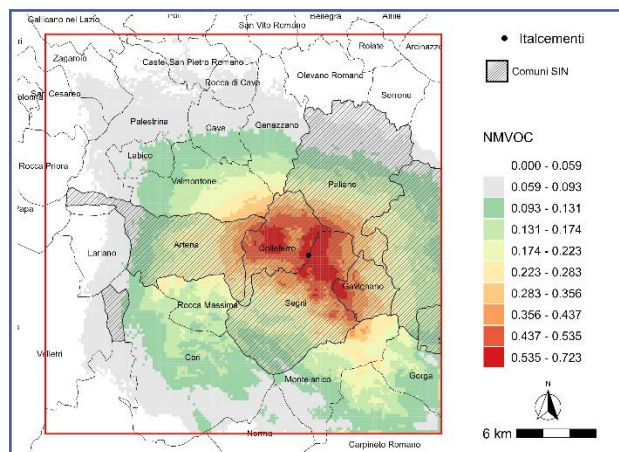
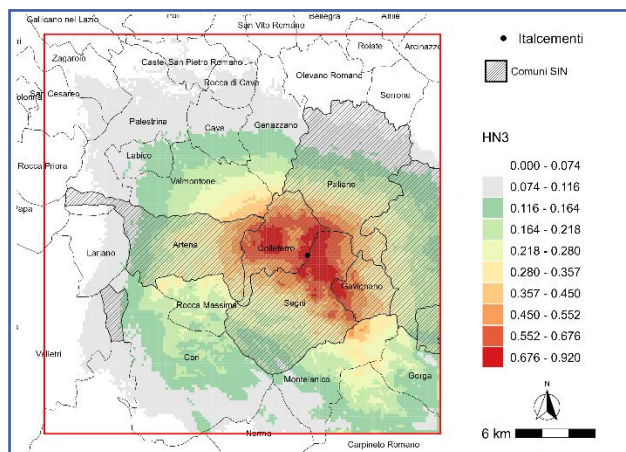
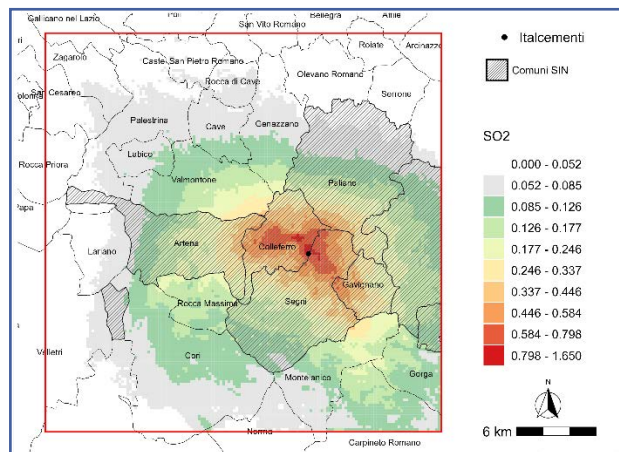
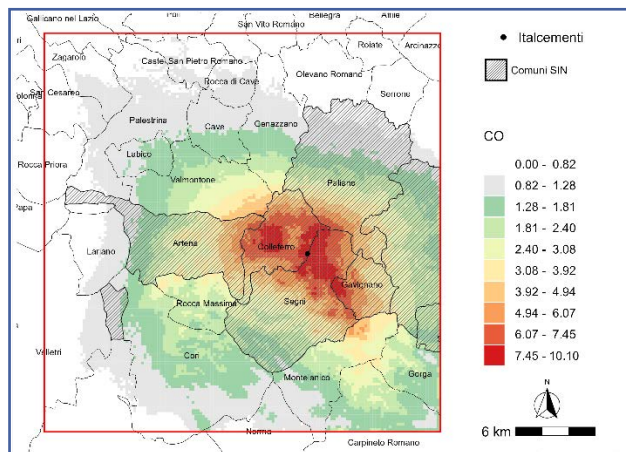


Figura 2. Area di riferimento: Dominio 2. Simulazioni medie-annue impianto Acs Dobfar, per CO NO_x SO_x

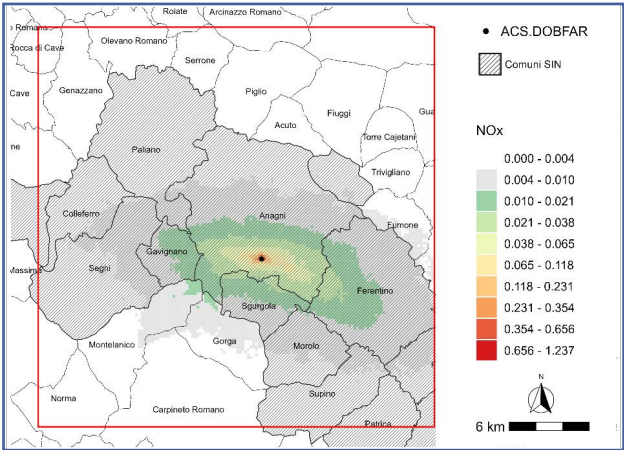
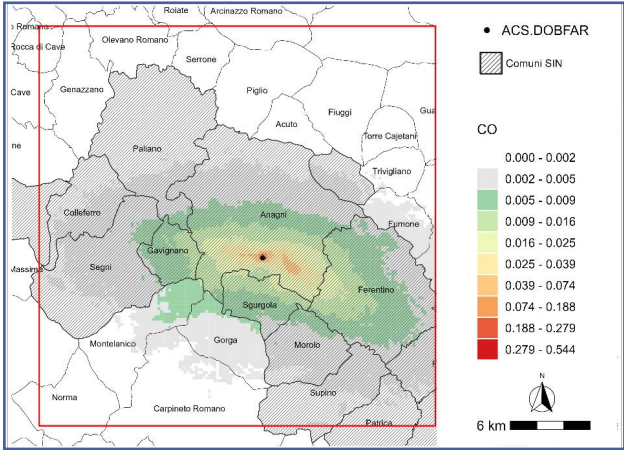
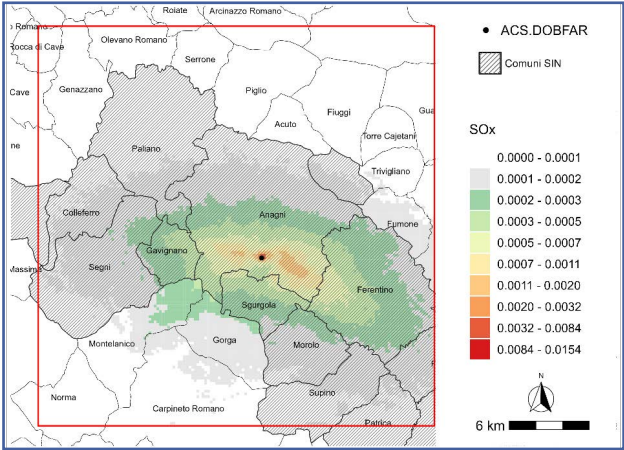


Figura 3. Area di riferimento: Dominio 2. Simulazioni medie-annue impianto Agusta, per CO, NMVOC, NO_x, PM₁₀, SO₂

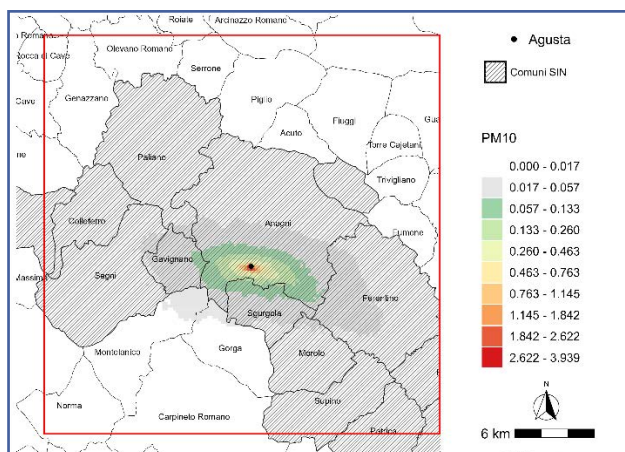
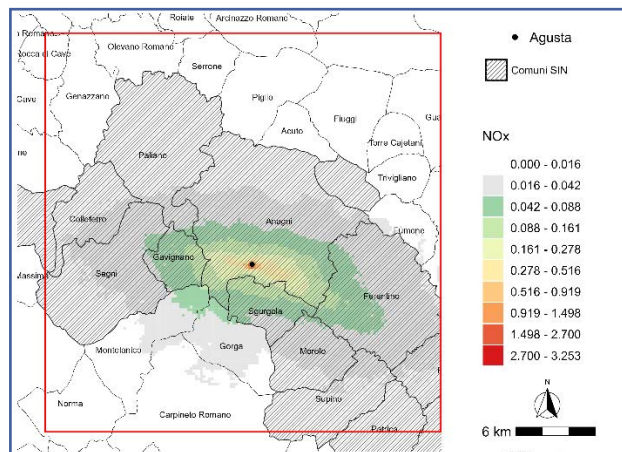
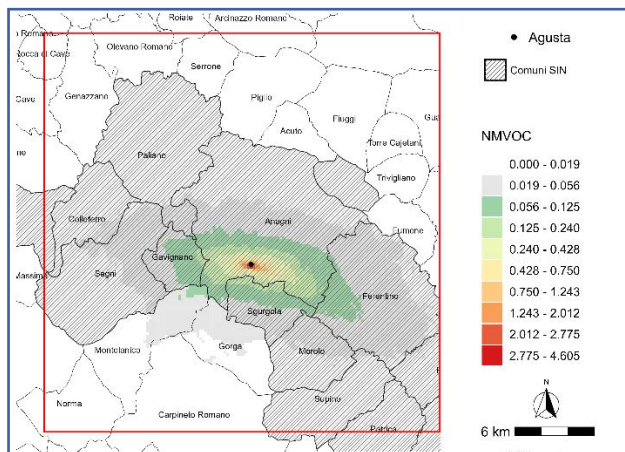
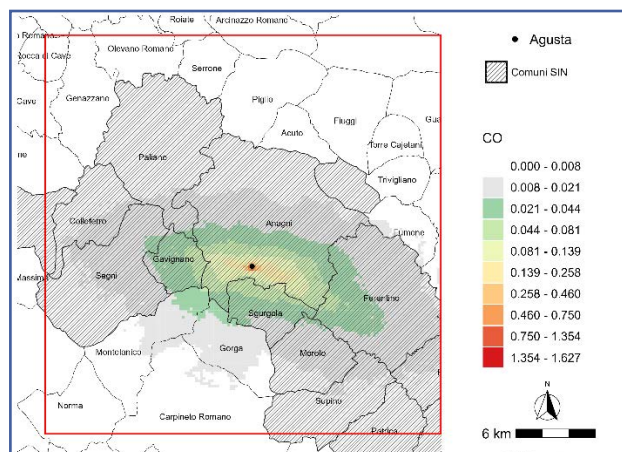
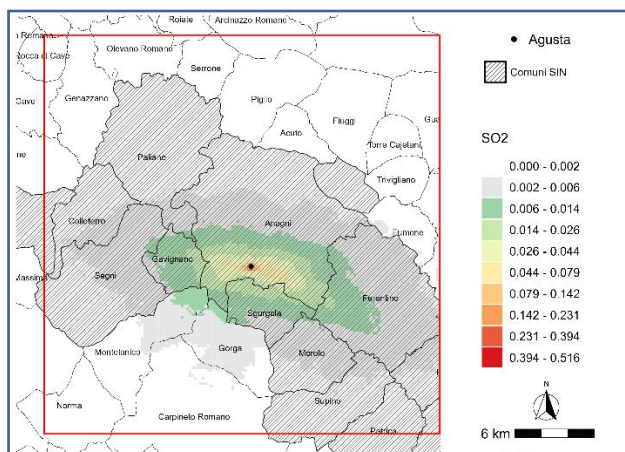


Figura 4. Area di riferimento: Dominio 2. Simulazioni medie-annue impianto Marangoni Tyre, per CO, NMVOC, NO_x, PM₁₀

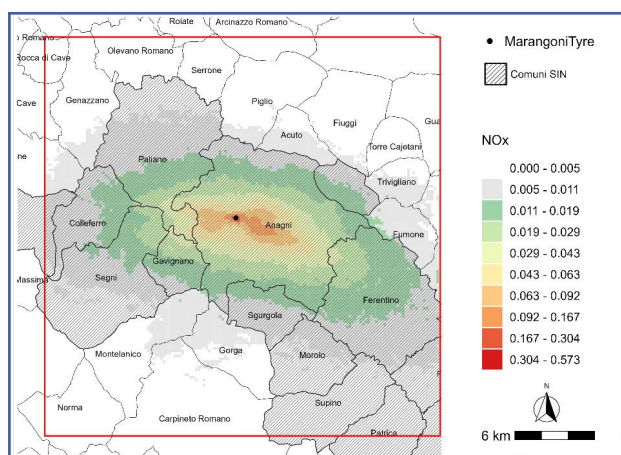
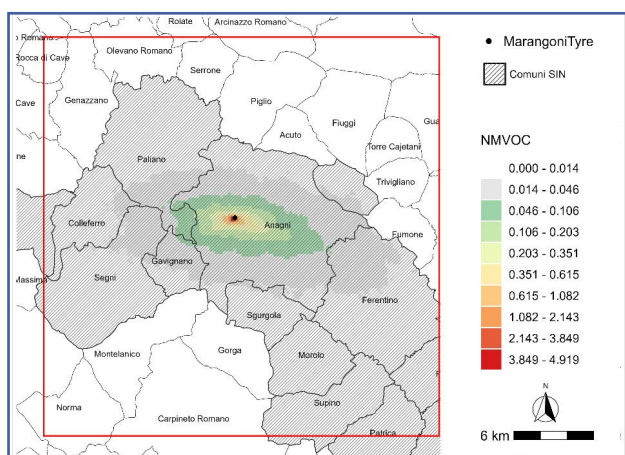
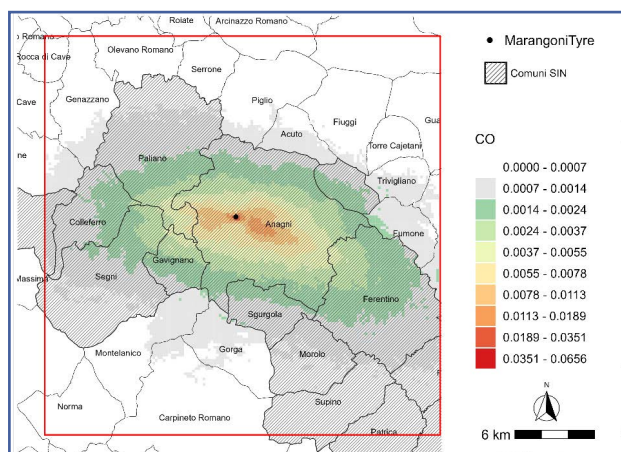
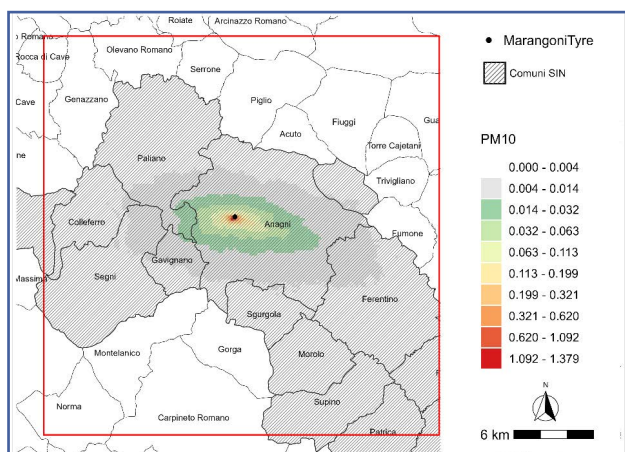


Figura 5. Area di riferimento: Dominio 2. Simulazioni medie-annue impianto Eurozinco, per NO_x , PM_{10}

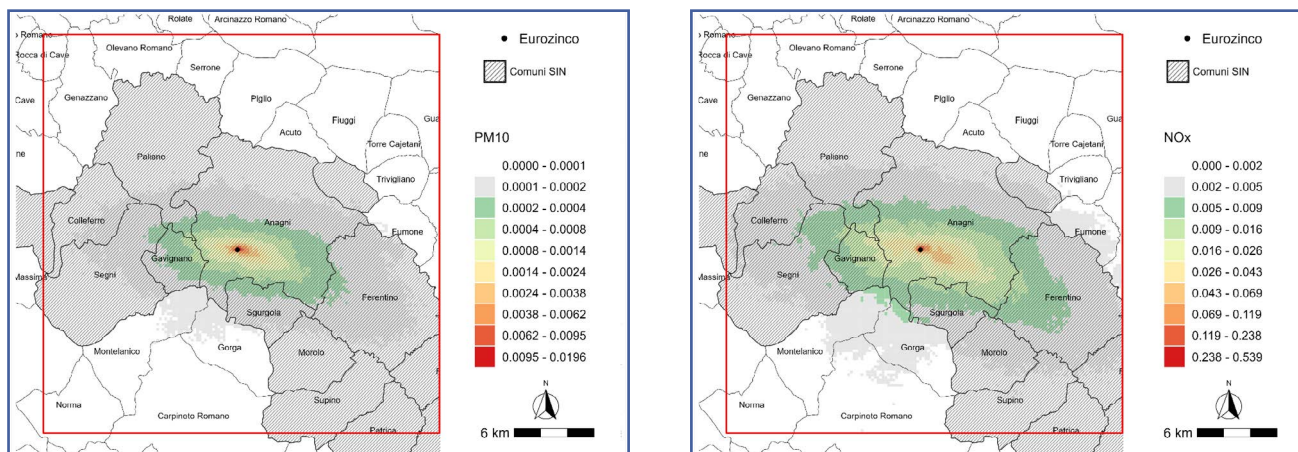


Figura 6. Area di riferimento: Dominio 2. Simulazioni medie-annue impianto Ramacolor, per NO_x , PM_{10}

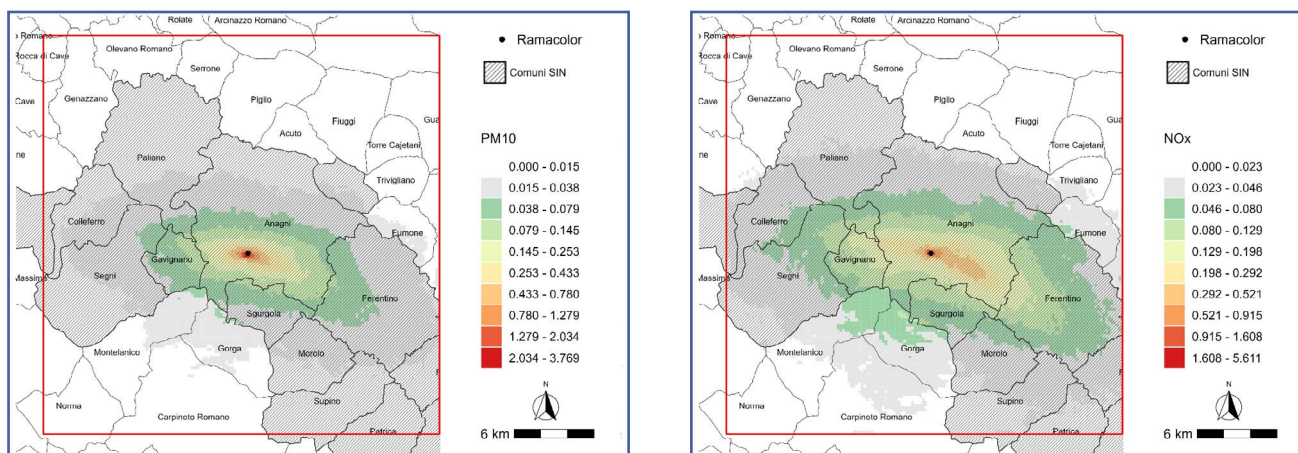


Figura 7. Area di riferimento: Dominio 3. Simulazioni medie-annue impianto Henkel, per CO, NMVOC, NO_x, PM₁₀, SO_x

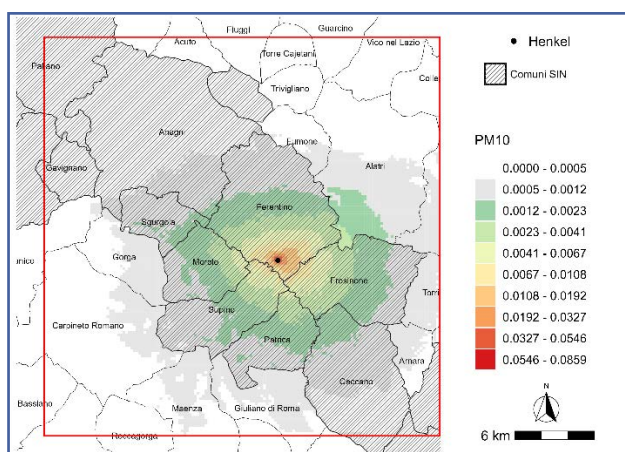
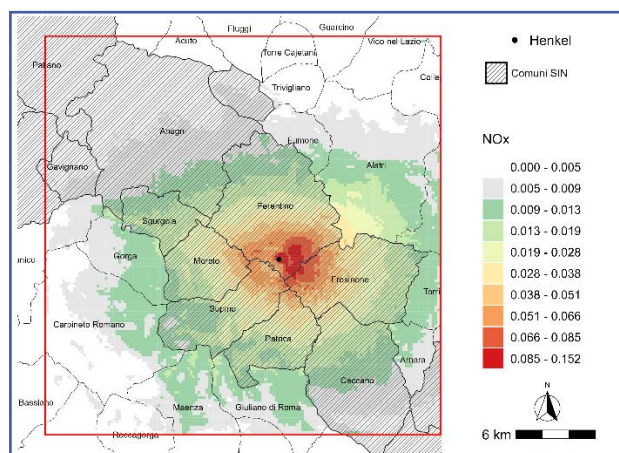
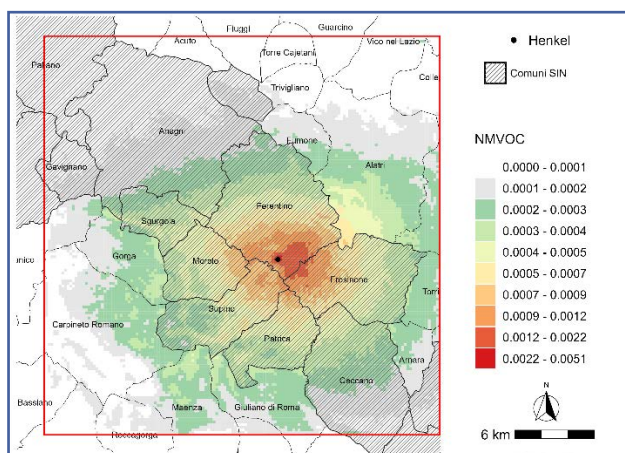
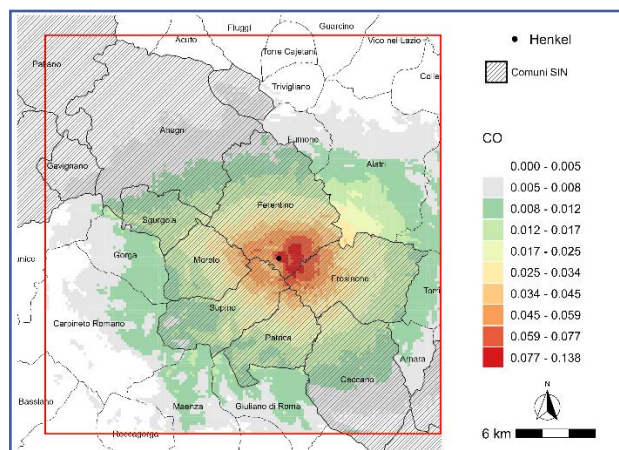
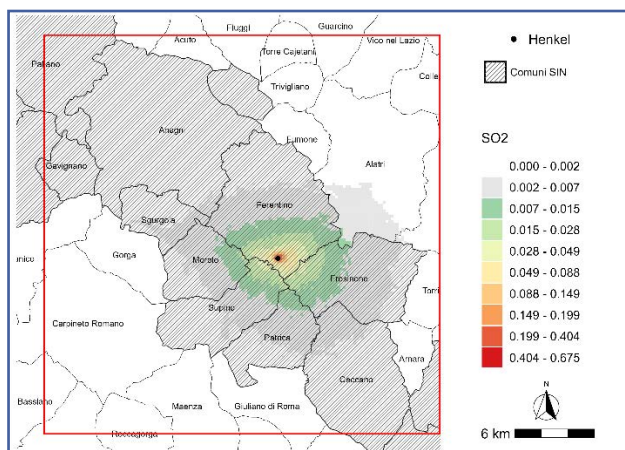


Figura 8. Area di riferimento: Dominio 3. Simulazioni medie-annue impianto Marangoni TREAD, per NMVOC, PM_{10}

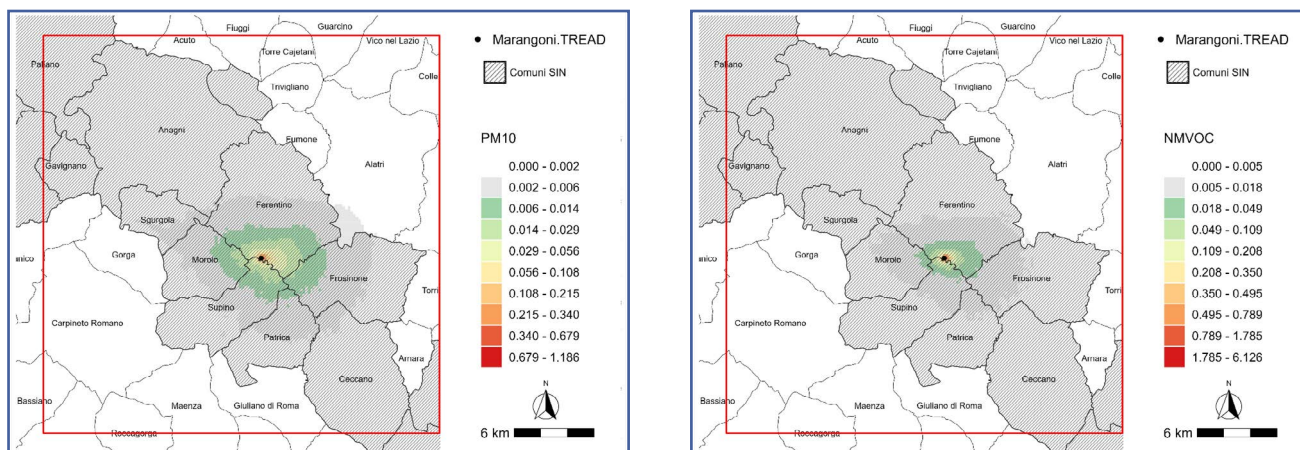


Figura 9. Area di riferimento: Dominio 4. Simulazioni medie-annue impianto Chemi, per NMVOC, NOx , PM_{10}

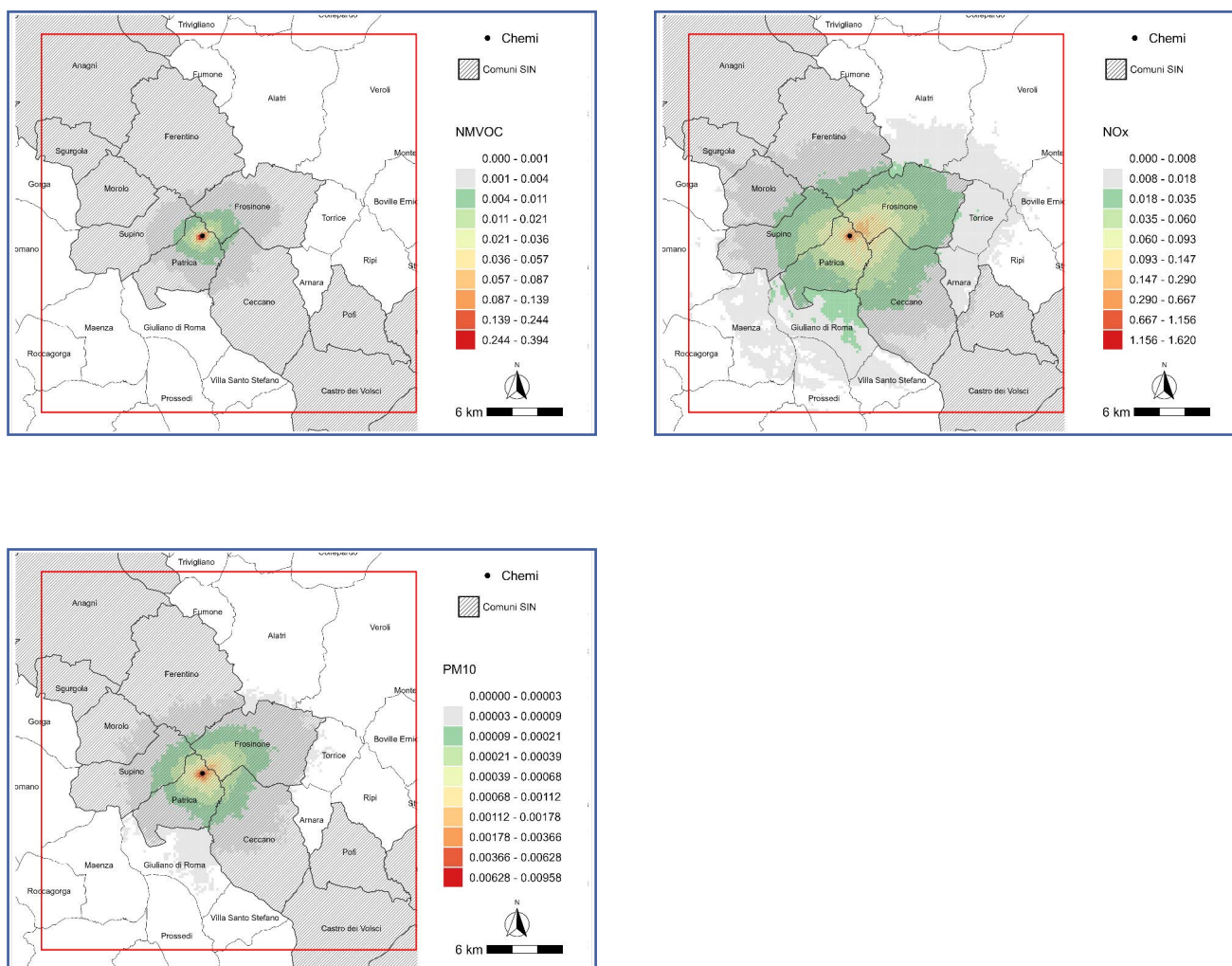


Figura 10. Area di riferimento: Dominio 4. Simulazioni medie-annue impianto Huntsman, per CO, NMVOC, NO_x, SO₂

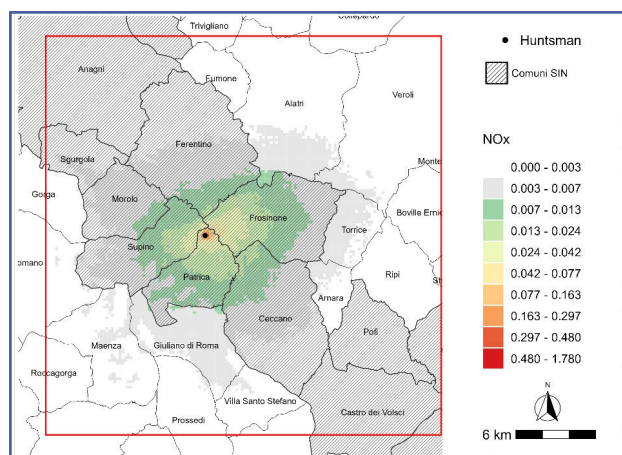
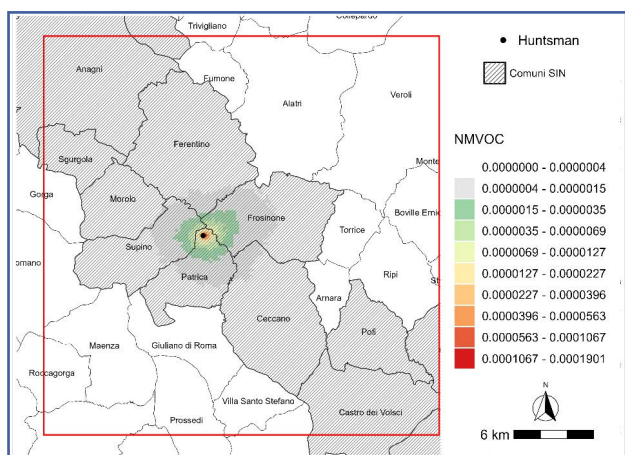
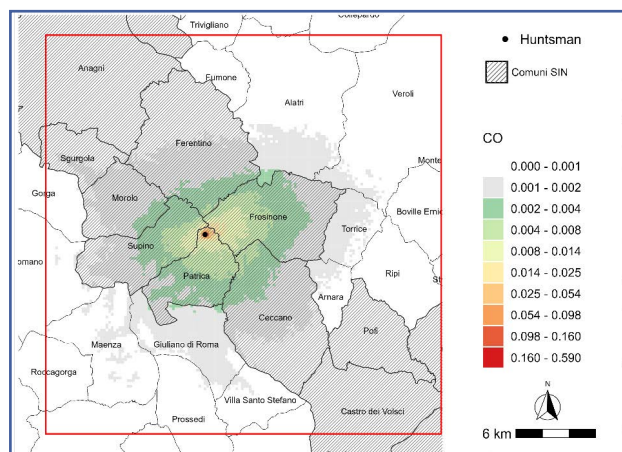
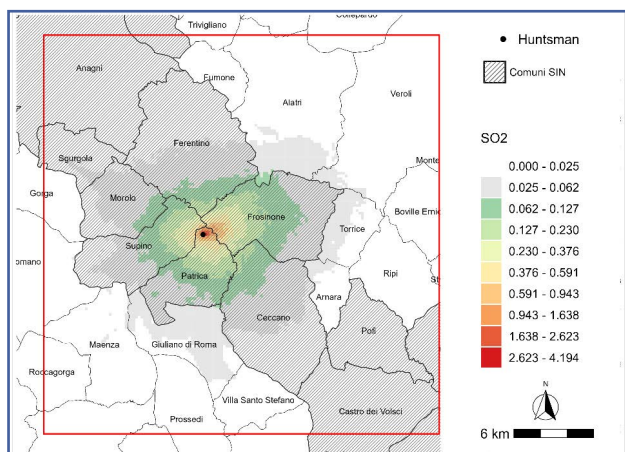


Figura 11. Area di riferimento: Dominio 4. Simulazioni medie-annue impianto Klopman, per CO, NMVOC, NO_x, PM₁₀, SO₂

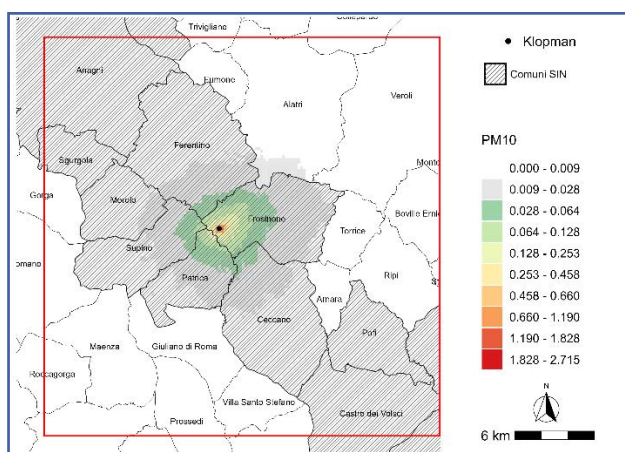
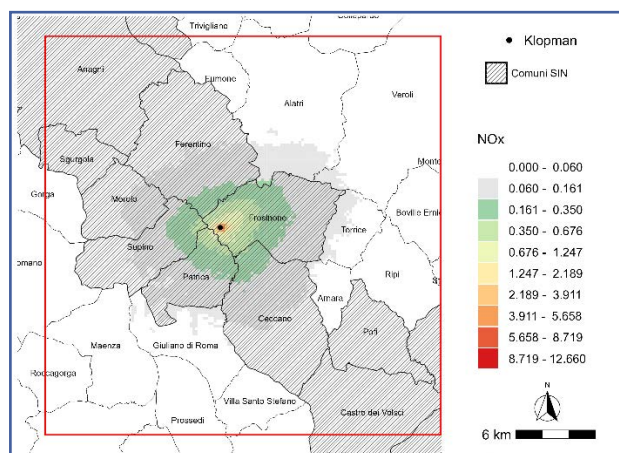
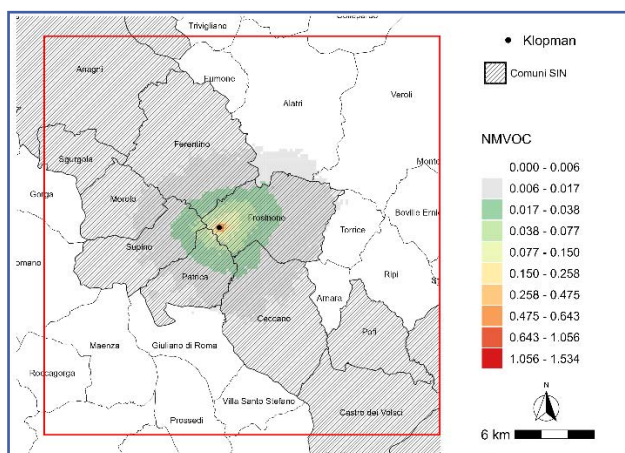
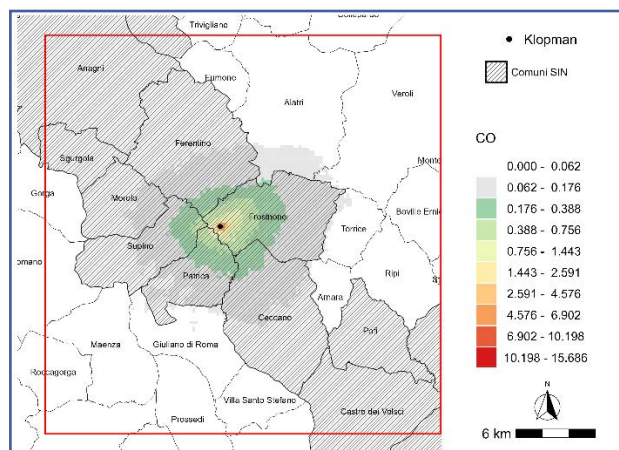
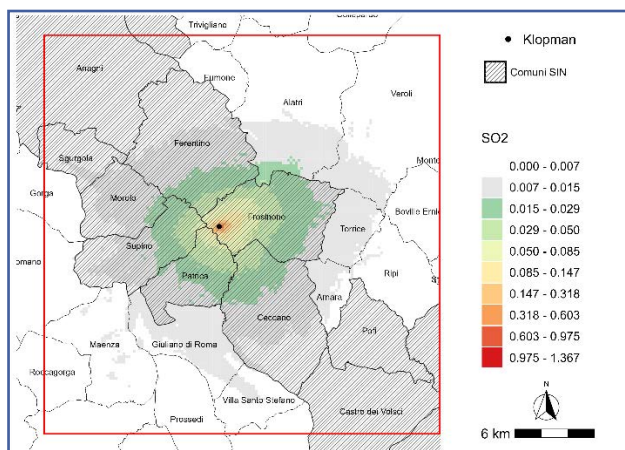


Figura 12. Area di riferimento: Dominio 4. Simulazioni medie-annue impianto Viscolube, per NO_x , PM_{10} , SO_2

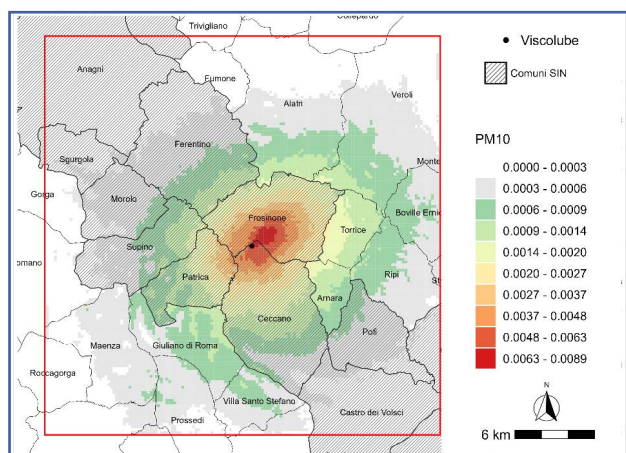
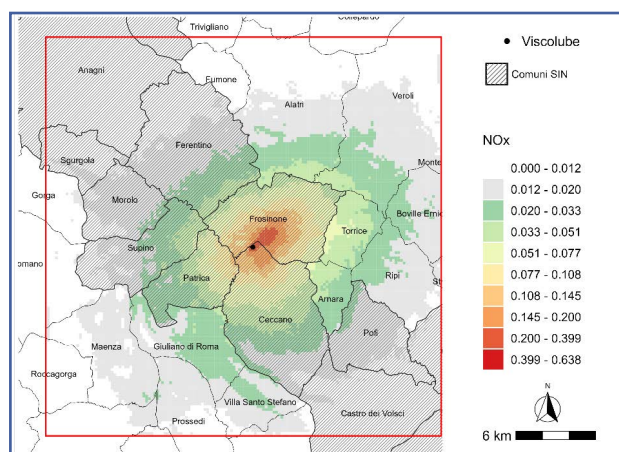
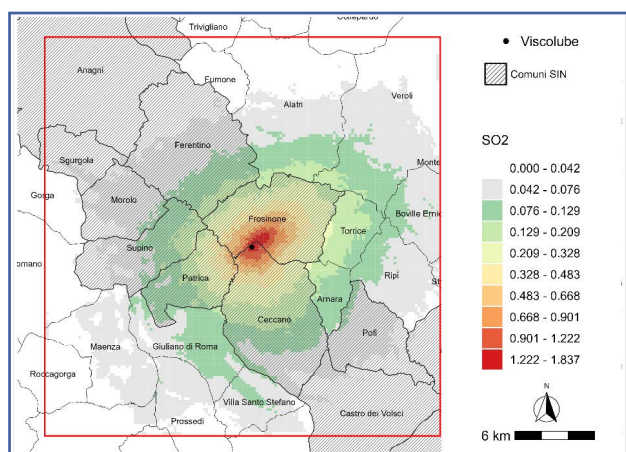


Figura 13. Area di riferimento: Dominio 5. Simulazioni medie-annue impianto Industrie Pica, per NMVOC, NO_x, SO₂

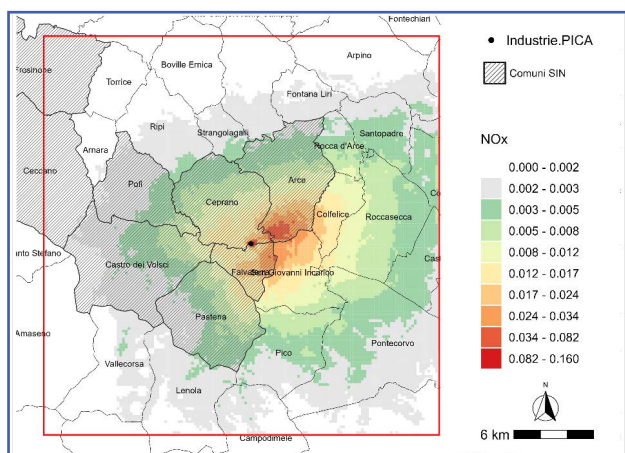
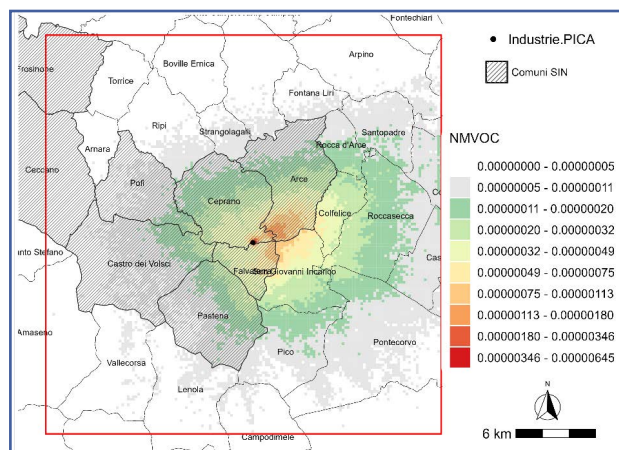
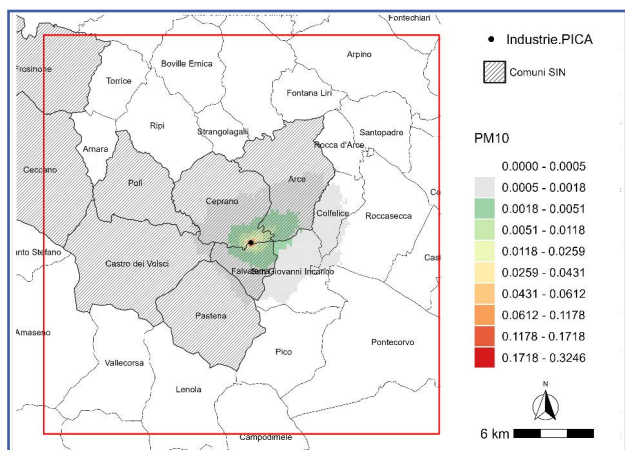


Figura 14. Area di riferimento: Dominio 5. Simulazioni medie-annue impianto Ori Martin, per CO, NO_x, PM₁₀

