

### STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

ai sensi dell'art. 19 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.

**Allegato 4 – Studio delle ricadute al suolo delle emissioni inquinanti atmosferiche – edizione Agosto 2021 (progetto “Recupero di metalli preziosi da rifiuti contaminati da PCB e conferiti in D10”)**

**Progetto n.** 245711  
**Revisione:** 01  
**Data:** Agosto 2021  
**Nome File:**



# Studio delle ricadute al suolo delle emissioni inquinanti atmosferiche a analisi degli effetti

---

Istanza di modifica sostanziale  
Safimet S.p.A.

**Agosto 2021**

<b>Per:</b>	<b>Safimet S.p.A.</b> Località S. Zeno, 63/E, 52100 Arezzo (AR)	
<b>Preparato da:</b>	<b>Dott. Roberto Bellasio</b> <b>Prof. Ing. Alessandro Casula</b> <b>Dott.ssa Elena Tasca</b>	
<b>Approvato da:</b>	<b>Prof. Ing. Alessandro Casula</b>	
<b>Revisione documento:</b>	31 agosto 2021	

## INDICE

1	Introduzione.....	3
2	Valori di riferimento per la qualità dell'aria.....	5
2.1	Normativa .....	5
2.2	Inquinanti non normati e deposizioni .....	8
2.3	Problematica metodologica.....	9
3	Il sistema modellistico CALMET/CALPUFF .....	11
3.1	Criteri di selezione.....	11
3.2	CALMET .....	12
3.3	CALPUFF.....	13
4	Costruzione dell'input meteorologico .....	14
4.1	Dominio .....	14
4.2	Dati meteorologici in input .....	17
5	Scenari emissivi .....	23
5.1	Sorgenti.....	23
5.2	Building downwash .....	31
6	Simulazioni di dispersione degli inquinanti .....	32
6.1	Dati di output del modello CALMET.....	32
6.2	Dati di input del modello CALPUFF.....	37
6.2.1	Diossine (PCDD/F+PCB-DL).....	40
6.2.2	Biossido di azoto (NO <sub>2</sub> ).....	40
6.2.3	Ammoniaca (NH <sub>3</sub> ) .....	41
6.2.4	Mercurio (Hg).....	42
6.2.5	Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) .....	43
6.2.6	Altri metalli .....	44
6.2.7	Polveri.....	45
6.3	Risultati.....	45
6.3.1	Scenario 1.....	45
6.3.2	Scenario 2.....	62
6.3.3	Scenario 3.....	65

---

6.3.4	Scenario 4.....	68
7	Conclusioni.....	73
8	Riferimenti.....	75



# 1

## INTRODUZIONE

Il presente studio ha l'obiettivo di valutare l'impatto atmosferico indotto dallo stabilimento Safimet di San Zeno (AR) sull'ambiente circostante in base al quadro emissivo presentato dall'azienda con l'istanza di modifica sostanziale all'AIA (Pratica n. SUAP/2019/9337 – Protocollo n. GE/2019/0001169 del 03/01/2019) e successive integrazioni (prot.46894 del 4.02.2021 e prot.58485 dell'11.02.2021).

Lo stabilimento Safimet è localizzato tra la linea ferroviaria e la strada che scende verso la zona industriale di San Zeno, a poche centinaia di metri dall'impianto di termodistruzione dei rifiuti della AISA Impianti (**Figura 1**).

Sono stati considerati **quattro scenari emissivi** caratterizzati dalla presenza di **undici sorgenti** che emettono diversi inquinanti, tra cui polveri, ossidi di azoto, ossidi di zolfo, monossido di carbonio, diossine e metalli.

È stato utilizzato il sistema modellistico CALMET CALPUFF, versione 7, che è uno degli strumenti utilizzabili in territori caratterizzati da orografia complessa U.S. EPA (2017), come quello oggetto di studio. Il sistema modellistico CALMET/CALPUFF è costituito da un modulo di dispersione lagrangiano a puff (CALPUFF) e da un preprocessore meteorologico (CALMET) in grado di ricostruire il campo di vento tridimensionale anche in orografia complessa. I risultati delle simulazioni sono presentati anche sotto forma di mappe di isoconcentrazione e isodeposizione per alcuni inquinanti.

Il periodo di simulazione è l'intero anno 2020. La meteorologia oraria con risoluzione spaziale di 250 m è stata ottenuta applicando prima il modello meteorologico a mesoscala WRF, e quindi utilizzando il suo

output come *first guess* in input al modello meteorologico diagnostico CALMET, che è inoltre stato alimentato dalle misure di due stazioni meteorologiche ARPAT.



**Figura 1.** Posizione dell'impianto Safimet oggetto dello studio.

Lo studio è stato svolto secondo le indicazioni di ARPA Toscana, Area Vasta Centro – Settore modellistica previsionale, riportate nel loro contributo specialistico datato 26 novembre 2020 avente ad oggetto “SAFIMET spa, stabilimento in località San Zeno, Arezzo – Valutazione della documentazione presentata in relazione a quanto previsto dal Piano di Monitoraggio e Controllo dell'AIA vigente” e a seguire ricevute nell'incontro tecnico del 4 maggio 2021 di cui al verbale avente ad oggetto “MODIFICA SOSTANZIALE dell'AIA per l'impianto SAFIMET si San Zeno, Arezzo – trasmissione verbale incontro tecnico ARPAT-SAFIMET del 4/5/2021”. Parte integrante del verbale è la “Nota metodologica sulla stima modellistica delle deposizioni di PCDD/F e PCB-DL con il modello di dispersione CALPUFF (ver. 2020.11.06)”.

# 2

## VALORI DI RIFERIMENTO PER LA QUALITÀ DELL'ARIA

### 2.1 Normativa

L'attuale normativa sulla qualità dell'aria a livello nazionale è rappresentata dal D. Lgs. 155 del 13/08/2010 che recepisce la Direttiva Europea 2008/50/CE (relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa) e abroga una serie di leggi precedenti, tra cui il DM n. 60 del 2 aprile 2002 e il D.Lgs. 351 del 04/08/1999. Il D.Lgs. 155/2010 impone il rispetto di valori limite di concentrazione in atmosfera per CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, Benzo(a)pirene, Pb, As, Cd e Ni.

Per quanto riguarda gli altri inquinanti invece, il decreto stabilisce:

- a) i valori limite per le concentrazioni nell'aria ambiente di biossido di zolfo, biossido di azoto, benzene, monossido di carbonio e PM<sub>10</sub>;
- b) i livelli critici per le concentrazioni nell'aria ambiente di biossido di zolfo e ossidi di azoto;
- c) le soglie di allarme per le concentrazioni nell'aria ambiente di biossido di zolfo e biossido di azoto;
- d) il valore limite, il valore obiettivo, l'obbligo di concentrazione dell'esposizione e l'obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione per le concentrazioni nell'aria ambiente di PM<sub>2.5</sub>.

I valori limite fissati dal Decreto al fine della protezione della salute umana sono riepilogati in **Tabella**

1.

Il valore limite riportato per il biossido di zolfo può essere espresso anche in termini di percentili. Il percentile 99.73 della concentrazione media oraria non deve superare i  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre il percentile 99.18 della concentrazione media giornaliera non deve superare i  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Analogamente per il biossido di azoto il percentile 99.79 della concentrazione media oraria non deve superare i  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Per quanto riguarda il PM10 il percentile 90.41 delle concentrazioni medie giornaliere non deve superare i  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Per il benzene il Decreto stabilisce un valore limite di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per la media annua.

Il valore limite per il monossido di carbonio è espresso tramite la media massima giornaliera su 8 ore. Essa viene individuata esaminando le medie mobili su 8 ore, calcolate in base a dati orari e aggiornate ogni ora.

Il Decreto stabilisce le soglie di allarme per il biossido di zolfo, per il biossido di azoto e per l'ozono:

- SO<sub>2</sub>:  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno  $100 \text{ km}^2$  oppure in una intera zona o un intero agglomerato, nel caso siano meno estesi.
- NO<sub>2</sub>:  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno  $100 \text{ km}^2$  oppure in una intera zona o un intero agglomerato, nel caso siano meno estesi.
- O<sub>3</sub>:  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come media su 1 ora per finalità di informazione;  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come media su 1 ora per tre ore consecutive per finalità di allarme.

In caso di superamenti delle soglie di allarme l'informazione deve essere resa pubblica, completa di data e ora del superamento, la causa (nel caso in cui sia nota), le previsioni sui futuri livelli di inquinamento, le categorie di popolazione potenzialmente sensibili al fenomeno e le precauzioni che la popolazione sensibile deve prendere per minimizzare gli eventuali danni.

I livelli critici per la protezione della vegetazione vengono riepilogati in **Tabella 2**, e sono pari a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come media sull'anno civile, rispettivamente per SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>.

Relativamente agli IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici) e ai metalli invece, il D. Lgs. 155/2010 stabilisce i valori obiettivo riepilogati in **Tabella 3**. Per gli IPA si fa solitamente riferimento al solo benzo(a)pirene.

**Tabella 1.** Valori limite fissati dal D. Lgs. 155/2010 per la protezione della salute umana.

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore limite
Biossido di zolfo	1 ora	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 24 volte per anno civile
Biossido di zolfo	24 ore	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 3 volte per anno civile
Biossido di azoto	1 ora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte per anno civile
Biossido di azoto	Anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzene	Anno civile	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Monossido di carbonio	Media massima giornaliera di 8 ore <sup>(1)</sup>	10 $\text{mg}/\text{m}^3$
Piombo	Anno civile	0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10	24 ore	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte per anno civile
PM10	Anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5	Anno civile	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

<sup>(1)</sup> Media mobile. Ogni media è riferita al giorno in cui si conclude. L'ultima fascia di calcolo per ogni giorno è quella compresa tra le ore 16:00 e le ore 24:00.

**Tabella 2.** Livelli critici fissati dal D. Lgs. 155/2010 per la protezione della vegetazione.

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore limite
Biossido di zolfo	Anno civile	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Biossido di zolfo	1 ottobre – 31 marzo	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ossidi di azoto	Anno civile	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**Tabella 3.** Valore obiettivo riferito al tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione di PM10 del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile.

Inquinante	Valore obiettivo
Benzo(a)pirene	1 ng/m <sup>3</sup>
Arsenico	6 ng/m <sup>3</sup>
Cadmio	5 ng/m <sup>3</sup>
Nichel	20 ng/m <sup>3</sup>

## 2.2 Inquinanti non normati e deposizioni

Per quanto riguarda le diossine (PCDD/PCDF), su suggerimento di ARPAT, per la concentrazione in aria si fa riferimento alla soglia di azione individuata in dall'ISS (Istituto Superiore di Sanità), pari a **40 fg TE/m<sup>3</sup>** (Di Domenico, 1988). Per valutare le deposizioni al suolo di PCDD/F o PCDD/F+PCB-DL si farà riferimento ai valori riportati in **Tabella 4** (Van Lieshout et al., 2001) e **Tabella 5** (Cornelis et al., 2007; Settimo and Viviano, 2015).

**Tabella 4.** Livelli di riferimento per la deposizione media giornaliera di PCDD/F

Livello	Deposizione media giornaliera di PCDD/F (pg TEQ/m <sup>2</sup> /giorno)
Alto	14
Medio	10
Basso	3.4

**Tabella 5.** Livelli di riferimento per la deposizione media giornaliera di PCDD/F + PCB-DL

Livello	Deposizione media giornaliera di PCDD/F+PCB-DL (pg TEQ/m <sup>2</sup> /giorno)
Cornelis et al., 2007	8.2
Settimo and Viviano, 2015	4

Relativamente ai metalli, i livelli di deposizione vengono valutati sulla base dei riferimenti riportati in

**Tabella 6** (sono stati considerati i valori minori indicati nella Tabella 3 di Settimo and Viviano, 2015).

*Tabella 6. Livelli di riferimento per la deposizione media giornaliera dei metalli.*

Livello	Deposizione media giornaliera ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{giorno}$ )
Cd	2
Ni	15
As	4
Hg	1
Pb	100

Per quanto riguarda la deposizione di polveri, il valore limite più basso indicato nella Tabella 3 di Settimo e Viviano (2015) è  $200 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{giorno}$  (valore adottato nel Regno Unito, in Svizzera e in Slovenia). Inoltre, come riportato ancora da Settimo e Viviano (2015), negli anni '80 una commissione del Ministero della Sanità aveva proposto gli intervalli indicati in **Tabella 7** per valutare i diversi livelli di polverosità.

*Tabella 7. Livelli di polverosità in funzione della deposizione di polveri.*

Livello di polverosità	Deposizione media giornaliera ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{giorno}$ )
Assente	< 100
Basso	100 – 250
Medio	250 – 500
Medio-Alto	500 – 600
Alto	> 600

## 2.3 Problematica metodologica

Il fine di uno studio delle ricadute al suolo delle emissioni inquinanti atmosferiche è quello di andare a valutare se la concentrazione al suolo di un determinato inquinante per effetto della sua emissione in atmosfera derivante dall'attività produttiva di un impianto determina, nell'area ad esso circostante, una variazione dello

stato di qualità dell'aria tale da compromettere le soglie di accettabilità dell'inquinamento (riferite a quel determinato parametro) a protezione della salute delle persone e della salvaguardia dell'ambiente. Tipicamente in questo tipo di studi si considera l'emissione inquinante effettiva misurata oppure, come nel caso specifico, l'emissione autorizzata o quella che si sta valutando di autorizzare. In questo secondo caso emerge un problema metodologico per i metalli, i quali tipicamente, secondo normativa, molto spesso hanno una emissione autorizzata riferita a delle loro specifiche sommatorie. Per contro lo standard di qualità ambientale è invece riferito allo specifico metallo. Esiste quindi per i metalli un disallineamento tra i valori di riferimento all'emissione rispetto ai valori di riferimento all'immissione tale da non consentire una diretta valutazione degli effetti.

Al riguardo sui metalli ARPAT ha suggerito di effettuare comunque le simulazioni con i ratei emissivi per ogni singolo metallo pari al valore limite autorizzato come sommatoria, ponendosi quindi in condizioni estremamente cautelative, al fine di verificare anche il rispetto dei limiti di qualità dell'aria stabiliti del D.Lgs. 155/2010 per alcuni metalli ed eventualmente definire l'eventuale necessità di definire un limite specifico (o un valore di attenzione) all'emissione non solo per il gruppo dei metalli, ma anche per alcuni di essi (Allegato XIII al D.Lgs. 155/2010).



# 3

## IL SISTEMA MODELLISTICO CALMET/CALPUFF

### 3.1 Criteri di selezione

Il sistema modellistico CALMET/CALPUFF (Scire et al, 2000a; Scire et al, 2000b) è stato scelto tra gli strumenti esistenti in base alle seguenti motivazioni (sulla base ad esempio di quanto suggerito in ANPA, 2000):

- **Referenze.** È indicato dalla US-EPA (2017) come uno dei possibili modelli adatti per la simulazione del trasporto degli inquinanti su lunghe distanze (da 50 km a diverse centinaia di km) e suggerito anche per la simulazione su distanze relativamente brevi quando le condizioni di orografia complessa possono generare situazioni di stagnazione, di ricircolo dei venti e variazioni spazio-temporali delle condizioni meteorologiche.
- **Scala spaziale.** Il modello prescelto è in grado di riprodurre efficacemente i fenomeni alla scala locale e nelle immediate vicinanze della sorgente (e.g. building downwash).
- **Scala temporale.** Il modello CALPUFF è in grado di predire per uno o più anni valori medi orari di concentrazione, quindi permette di determinare i parametri di interesse per la normativa vigente (numero di superamenti, percentili, ecc.).
- **Complessità dell'area di studio.** Il modello meteorologico diagnostico CALMET permette di riprodurre gli effetti dovuti all'orografia del territorio (presenza di rilievi), alle disomogeneità

superficiali (presenza di discontinuità terra-mare, città campagna, presenza grandi masse di acqua interne) e alle condizioni meteodiffusive non omogenee (regimi di brezza di monte-valle, brezze di mare, inversioni termiche, calme di vento a bassa quota).

- Tipologia di inquinante. Tutti gli inquinanti di origine primaria possono essere efficacemente simulati dal modello di dispersione CALPUFF. Il modello è inoltre in grado di descrivere processi di rimozione (deposizione secca e deposizione umida) specifici per ciascun inquinante.
- Tipologia delle sorgenti. Tutte le sorgenti di interesse nello studio sono di tipo puntuale (o puntiforme), e vengono gestite dal modello CALPUFF. Oltre al building downwash a cui si è già accennato, il modello descrive altri fenomeni tipici di questa tipologia di sorgenti, quali il plume rise, lo stack tip downwash ed altri ancora.
- Tipologia di analisi. Lo studio prevede l'effettuazione di un'analisi di dettaglio tenendo conto dei dati meteorologici locali su base oraria per un periodo temporale di un anno. I valori di concentrazione media oraria ottenuti saranno ulteriormente processati per ottenere i parametri di interesse normativo.
- Disponibilità dei dati di input. Il sistema CALMET/CALPUFF richiede molti più dati di input rispetto ad un modello di tipo Gaussiano. Sono necessarie ad esempio misure meteorologiche al suolo con risoluzione oraria, almeno un radiosondaggio ogni 12 ore, informazioni sull'orografia e sull'utilizzo del suolo. A fronte di questa maggiore richiesta di dati, tutti disponibili per lo studio in oggetto, il sistema modellistica fornisce informazioni molto più dettagliate e precise rispetto a modelli più semplici basati su una meteorologia puntuale.

Nel seguito viene fornita una breve descrizione dei modelli CALMET e CALPUFF.

## 3.2 CALMET

CALMET (Scire et al., 2000b) è un modello meteorologico diagnostico, cioè in grado di ricostruire il campo di vento 3D su un dominio di calcolo con orografia complessa a partire da misure al suolo, da almeno un profilo verticale e dai dati di orografia e utilizzo del suolo. Esso contiene inoltre degli algoritmi per il calcolo di parametri micrometeorologici 2D fondamentali nell'applicazione di modelli di dispersione in atmosfera, come, ad esempio, l'altezza di rimescolamento, la lunghezza di Monin-Obukhov, la velocità di frizione e la velocità convettiva. Il modulo per la ricostruzione del campo di vento utilizza un approccio costituito da due passi successivi. Nel primo passo modifica il vento iniziale (Initial Guess Field) in funzione degli effetti cinematici del terreno e dei venti di pendenza e produce un primo campo di vento. Nel secondo passo questo campo di vento viene modificato tramite una analisi oggettiva che introduce i dati misurati ed utilizza l'equazione di continuità. L'output di CALMET viene utilizzato in maniera diretta dal modello di dispersione Lagrangiano a puff CALPUFF (Scire et al, 2000a), dal modello Lagrangiano a particelle LAPMOD (Bellasio

et al., 2018) e dal modello di dispersione Euleriano fotochimico CALGRID (Yamartino et al, 1989; Yamartino et al, 1992). CALMET è stato modificato allo scopo di migliorare gli algoritmi di interpolazione della temperatura e del calcolo delle componenti diretta, riflessa e diffusa della radiazione solare tenendo conto dell'ombra indotta dall'orografia (Bellasio et al, 2005). In questo studio viene comunque utilizzata la versione ufficiale di CALMET.

### 3.3 CALPUFF

CALPUFF (Scire et al, 2000a) è un modello di dispersione Lagrangiano a puff non stazionario. Esso simula il trasporto, la rimozione per deposizione secca ed umida, ed alcune semplici trasformazioni chimiche per diverse specie inquinanti contemporaneamente. Il campo meteorologico in input a CALPUFF può essere variabile sia nello spazio che nel tempo. Il modello CALPUFF utilizza in maniera diretta l'output prodotto dal modello meteorologico diagnostico CALMET. Oltre a un campo meteorologico tridimensionale complesso, CALPUFF può utilizzare in input anche misure di vento provenienti da una singola centralina, tuttavia ciò non permette di usufruire pienamente delle sue capacità di trattare campi meteorologici variabili nello spazio.

CALPUFF può essere utilizzato per simulare la dispersione su diverse scale. Esso infatti contiene sia algoritmi per la descrizione di effetti importanti in prossimità della sorgente che algoritmi importanti su scale regionali. Tra i primi ci sono fenomeni come il building downwash, legato alla presenza di edifici vicino al camino, il transitional plume rise o il partial plume penetration, importanti nel caso di emissioni da camini di dimensioni paragonabili a quelle dello strato limite. Tra i secondi invece ci sono fenomeni come la deposizione secca e umida, lo shear verticale del vento che provoca il trasporto dell'inquinante con velocità e direzioni diverse in funzione della quota, o la descrizione della dispersione sul mare o vicino alle zone costiere. Le sorgenti di emissione simulate dal modello possono essere puntuali, areali, lineari o volumetriche. Il rateo e gli altri parametri di emissione (velocità di uscita dei fumi, temperatura, ecc.) possono essere costanti o variabili nel tempo. CALPUFF ha la peculiarità di utilizzare 3 tipologie di domini di calcolo:

- il dominio meteorologico è definito dalla simulazione di CALMET ed è la massima area su cui possono essere effettuate simulazioni di dispersione;
- il dominio computazionale indica il dominio all'interno del quale vengono considerate le sorgenti emissive e su cui vengono simulati i fenomeni di avvezione e dispersione degli inquinanti; esso può al massimo coincidere con il dominio meteorologico;
- il dominio di campionamento è il dominio su cui vengono forniti gli output di concentrazione; esso può al massimo coincidere con il dominio computazionale.

CALPUFF produce in output per tutte le specie simulate valori orari di concentrazione, deposizione secca e deposizione umida e, per applicazioni in cui la visibilità è un parametro di interesse, coefficienti di estinzione.

# 4

## COSTRUZIONE DELL'INPUT METEOROLOGICO

### 4.1 Dominio

Il dominio di simulazione del modello meteorologico diagnostico CALMET è rappresentato in **Figura 2** con un quadrato blu. In figura viene inoltre mostrata la posizione dell'impianto (quadrato rosso). Le coordinate UTM 32T dell'angolo di Sud Ovest del dominio di CALMET sono  $X = 708150$  m,  $Y = 4792750$  m; la dimensione del dominio di simulazione è di  $40 \times 40$  km<sup>2</sup>. La griglia di calcolo è stata scelta molto piccola (250 m) per ricostruire al meglio gli effetti orografici.

Il dominio del modello meteorologico CALMET è stato scelto potenzialmente più grande del dominio del modello di dispersione atmosferica CALPUFF, che è comunque in grado di innestarsi all'interno di un dominio di CALMET di maggiore estensione.

La zona di studio è situata all'interno di un'area con orografia complessa, caratterizzata dalla presenza di diversi rilievi. L'orografia media e l'utilizzo prevalente del suolo sono stati determinati per ogni cella del dominio di calcolo descritto a partire rispettivamente dai dati originali SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e dai dati del progetto CORINE Land Cover.

Sia i dati di orografia, sia i dati di utilizzo del suolo sono stati verificati utilizzando mappe satellitari. L'orografia media sulle celle di lato pari a 250 m (**Figura 3**) varia da circa 140 metri a circa 1330 m nelle zone settentrionali del dominio. La mappa di utilizzo del suolo ottenuta a seguito del procedimento descritto è

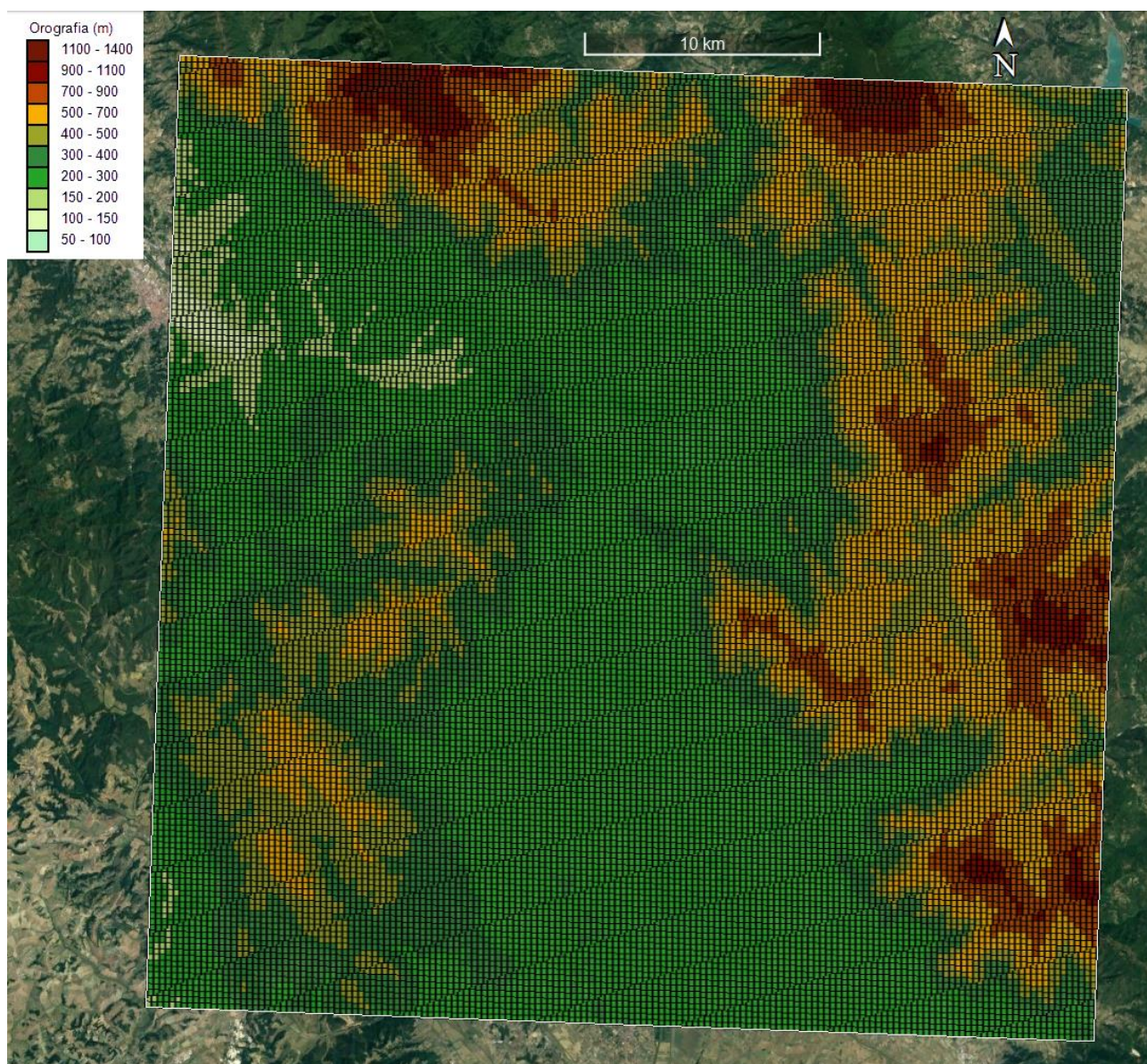


mostrata in **Figura 4**. In direzione verticale sono state utilizzate 12 griglie di calcolo per un'altezza totale di 4000 m. La simulazione è stata effettuata per l'intero anno 2020.



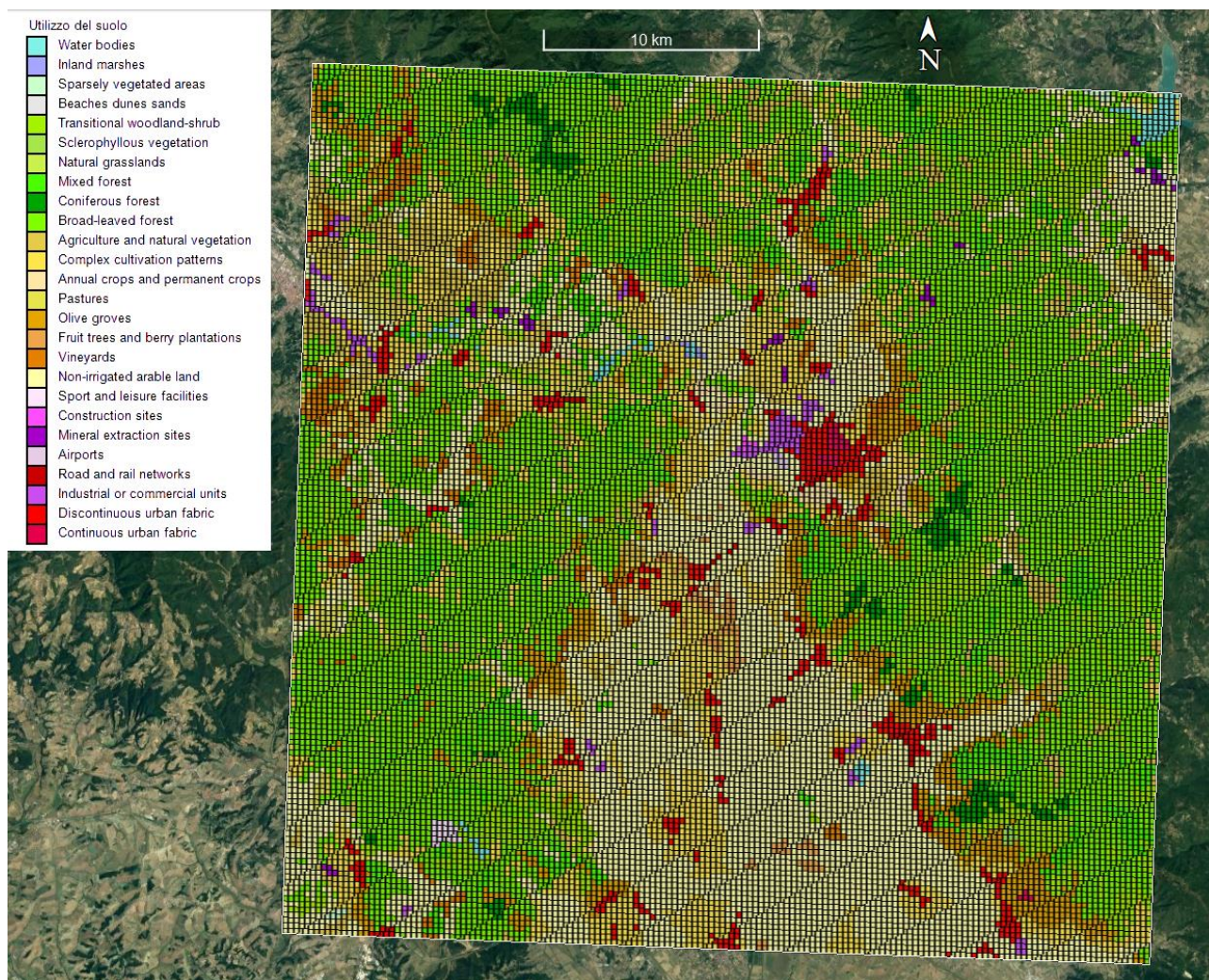
*Figura 2. Dominio di simulazione del modello CALMET.*





*Figura 3. Orografia sul dominio discretizzato con celle di 250 m.*





**Figura 4.** Utilizzo del suolo sul dominio discretizzato con celle di 250 m.

## 4.2 Dati meteorologici in input

Il modello CALMET può essere utilizzato a partire dai soli dati di un modello meteorologico a mesoscala, oppure dalle misure meteorologiche al suolo con risoluzione oraria e da almeno un profilo verticale con risoluzione temporale non superiore alle 12 ore, o in maniera ibrida utilizzando entrambe le informazioni.

I dati meteorologici necessari a CALMET in superficie sono velocità e direzione del vento, altezza del cielo, copertura nuvolosa, temperatura, umidità relativa, pressione e codice di precipitazione. I dati meteorologici necessari in quota sono pressione, altezza, temperatura, velocità e direzione del vento. I valori di copertura nuvolosa, come anticipato, sono stati ottenuti dall'output di WRF.

In questo studio si è deciso di alimentare CALMET sia con i dati di output del modello a mesoscala

WRF (Weather Research and Forecasting)\* relativi all'intero anno 2020 (utilizzati come *first guess*), sia con i dati misurati dalle stazioni meteorologiche ARPAT di Cesa e Badia Agnano. I dati di output di WRF sono stati utilizzati, oltre che per la meteorologia in superficie, anche per i profili verticali e per la copertura nuvolosa. La simulazione di WRF è stata effettuata su tre domini innestati (**Figura 5**), con risoluzione di griglia del dominio più interno pari a 3 km, e un rapporto pari a 3 per le risoluzioni di ogni dominio più esterno (9 km per il secondo, 27 km per il terzo). Per l'inizializzazione di WRF (dati al contorno e dati iniziali) sono state utilizzate le analisi NCEP FNL (Final) Operational Global Analysis disponibili con risoluzione spaziale di un grado ogni sei ore†. Il dominio più interno di WRF ha una dimensione di circa 200x200 km<sup>2</sup> ed include completamente il dominio di CALMET. L'output di WRF su una parte ridotta di tale dominio è stato estratto per mezzo del processore CALWRF ed utilizzato in input da CALMET come initial guess field.

Entrambe le stazioni meteorologiche ARPAT sono situate a circa 14 km dall'impianto (si veda la precedente **Figura 2**), Cesa in direzione sud e Badia Agnano in direzione ovest. I dati meteorologici delle due stazioni sono stati richiesti al Settore Idrologico e Geologico Regionale della Toscana (<https://www.sir.toscana.it/consistenza-rete>), e sono stati ricevuti con risoluzione temporale pari a 15 minuti. Poiché CALMET è stato utilizzato con risoluzione oraria, sono stati determinati i valori medi orari come medie scalari per tutte le variabili, fatta eccezione per la direzione del vento, per cui si è utilizzata la media vettoriale. Le rose del vento risultanti per le medie orarie sono rappresentate in **Figura 6** e **Figura 7**, rispettivamente per Cesa e Badia Agnano. Si osserva che la stazione di Badia Agnano è caratterizzata da venti deboli e numerosissime calme, che potrebbero essere dovuti sia alla bassa quota dell'anemometro (3.5 m), sia alla presenza di ostacoli attorno ad essa (Si veda ad esempio la **Figura 8**).

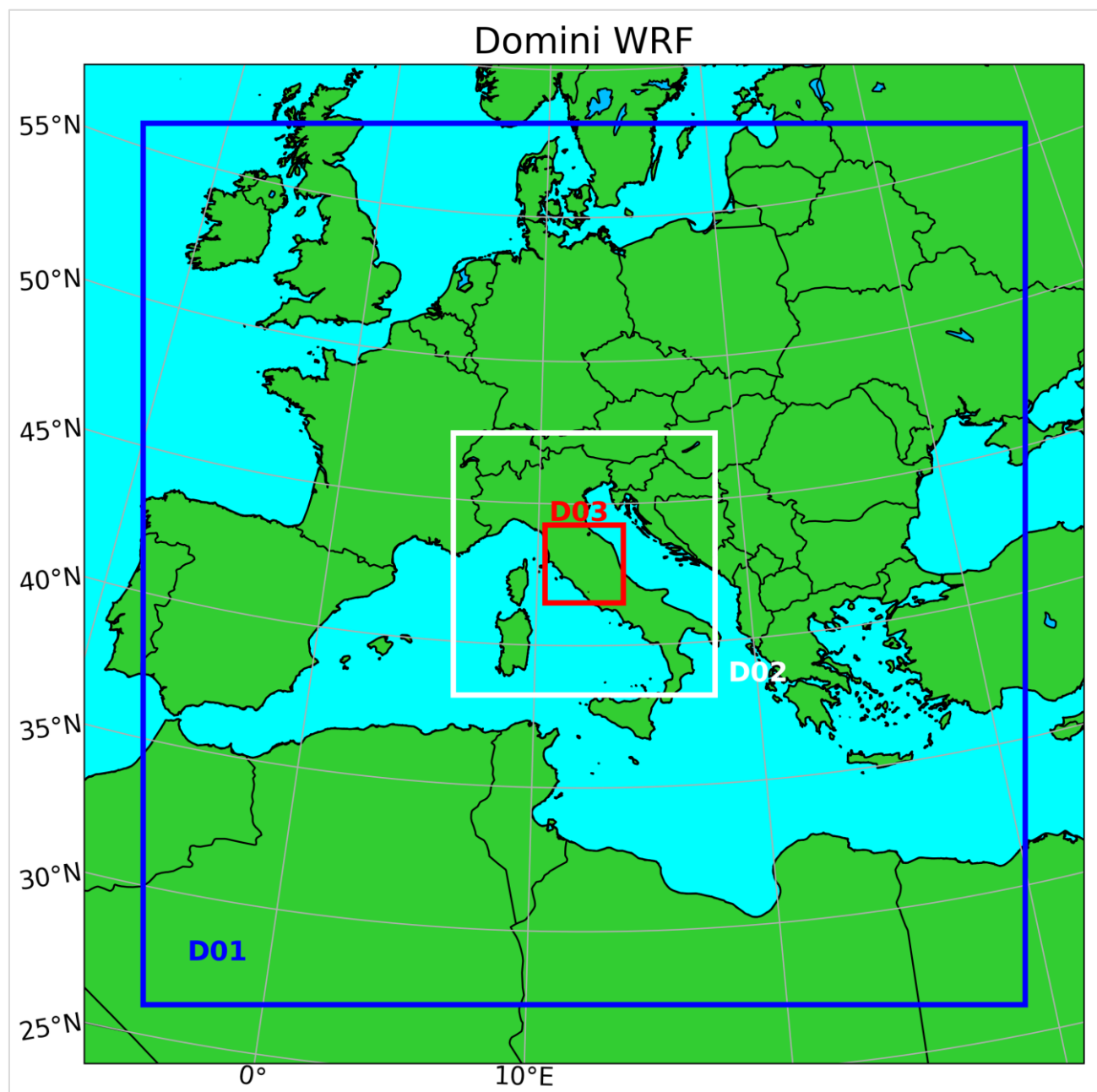
I dati meteorologici in input al modello coprono l'intero anno 2020.

---

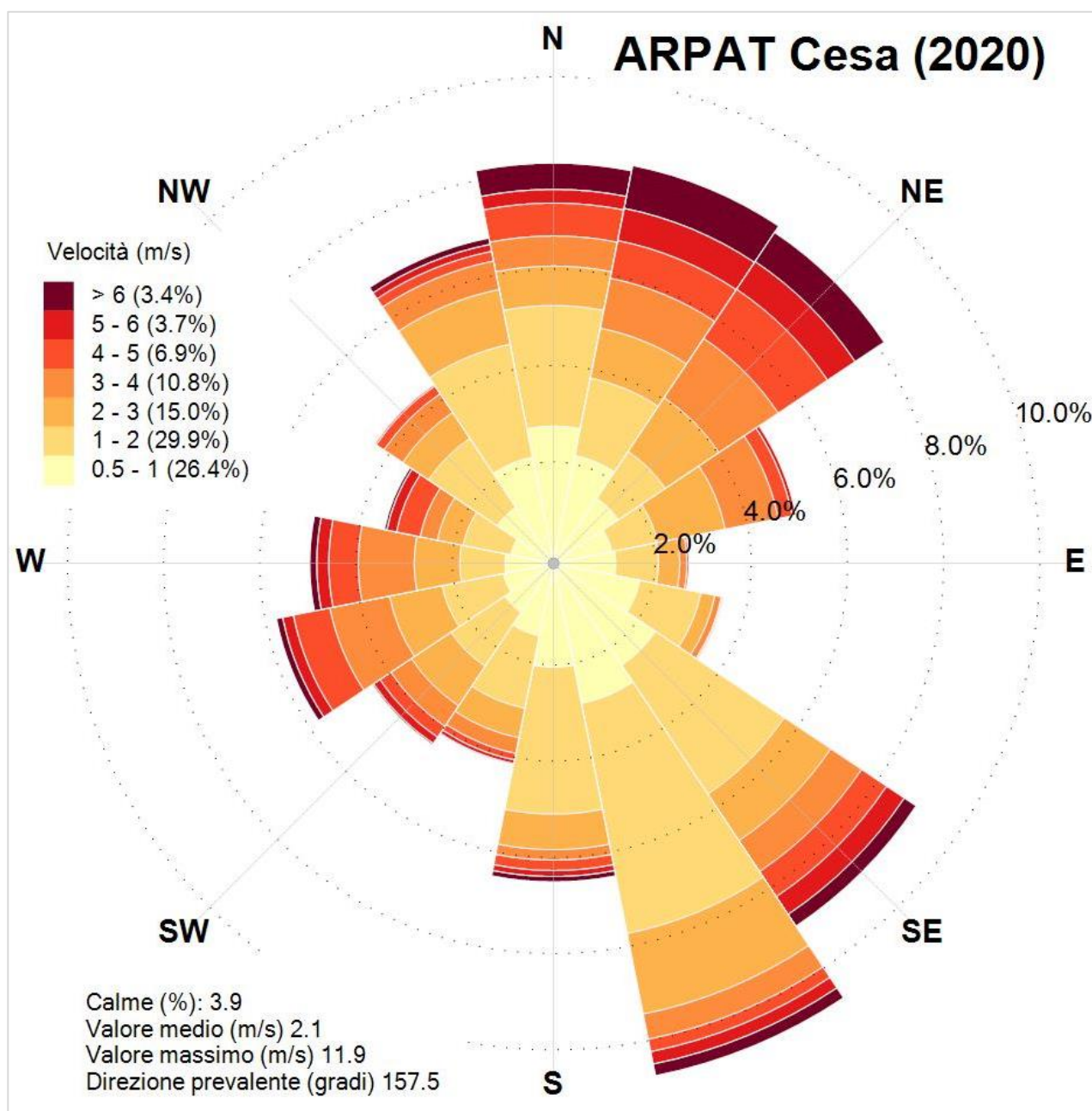
\* <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

† <https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2>

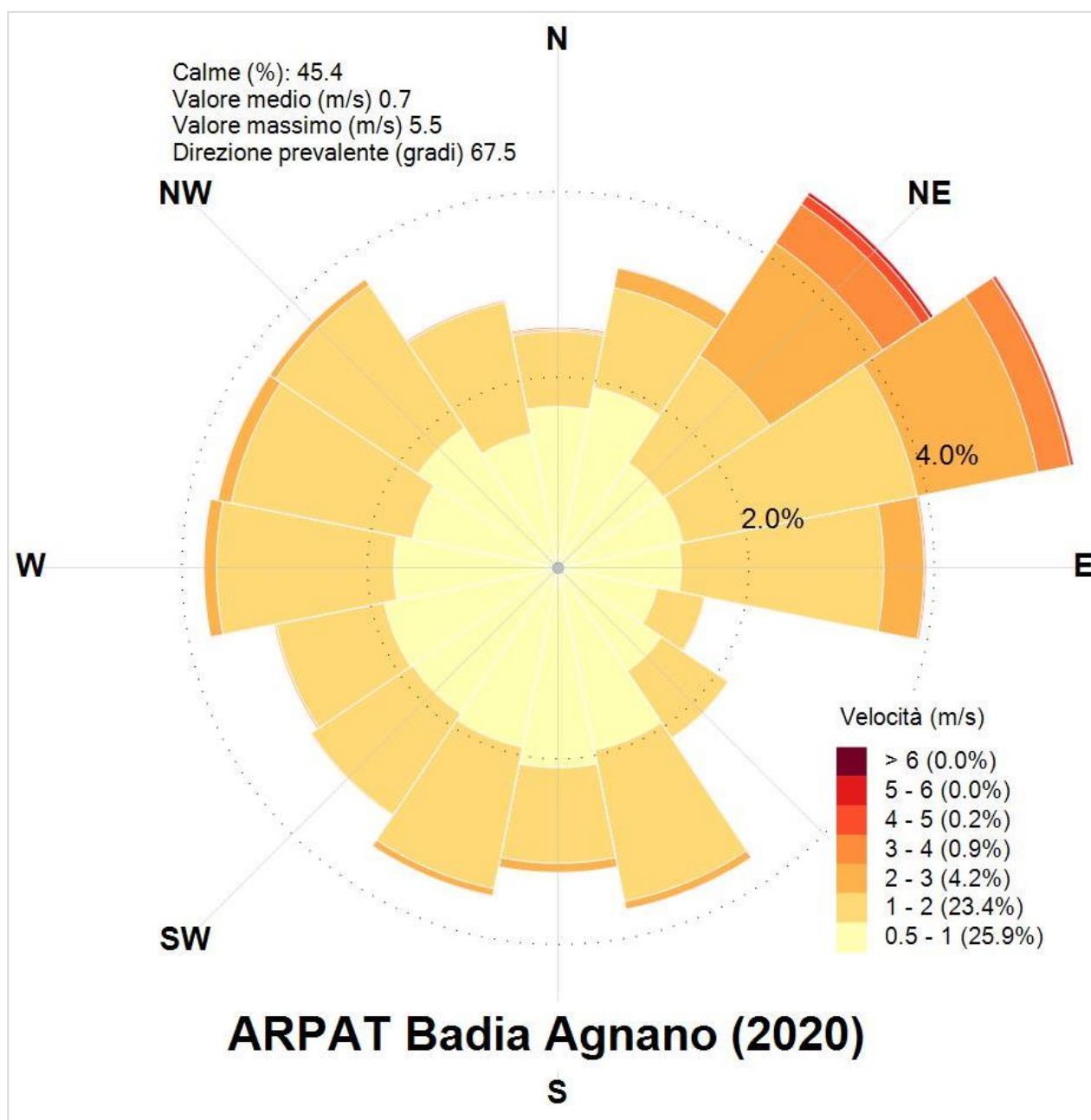




*Figura 5. Domini di simulazione del modello meteorologico WRF.*



*Figura 6. Rosa dei venti oraria della stazione Cesa, anno 2020.*



*Figura 7. Rosa dei venti oraria della stazione Badia Agnano, anno 2020.*



*Figura 8. Posizione della stazione Badia Agnano.*

# 5

## SCENARI EMISSIVI

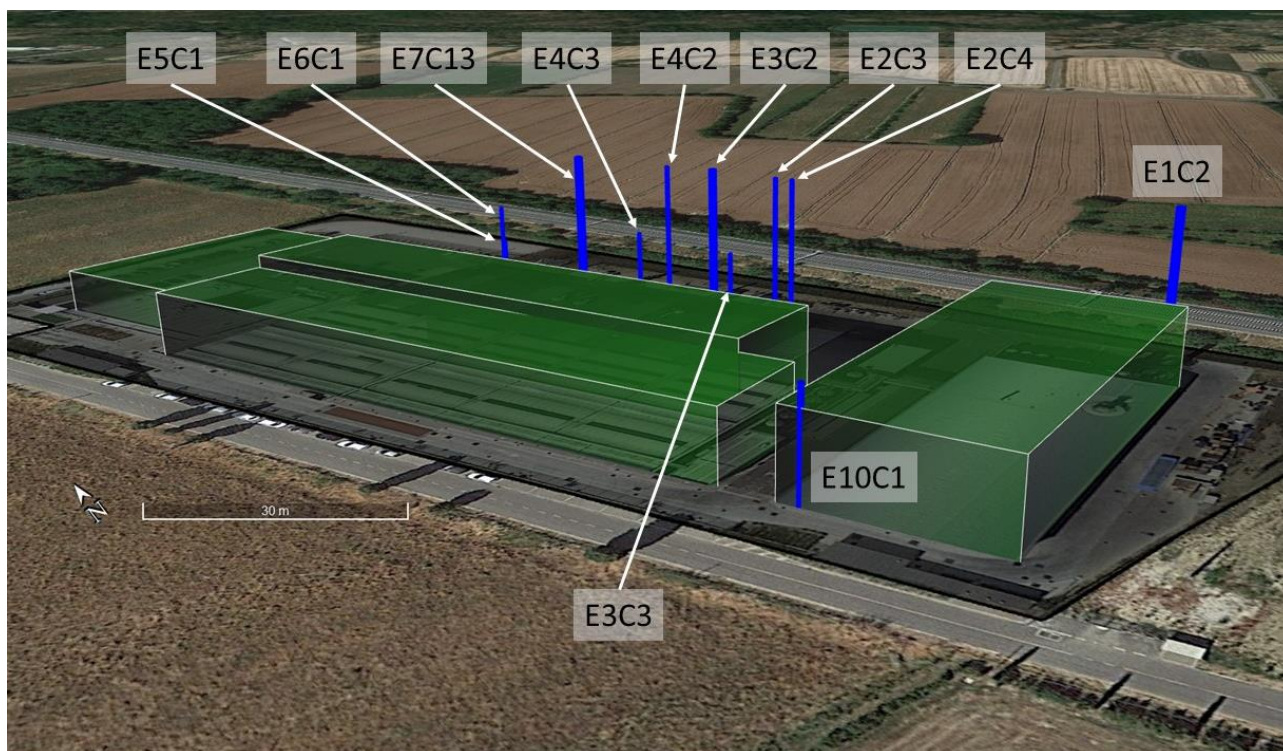
### 5.1 Sorgenti

Le sorgenti dello stabilimento Safimet considerate nello scenario di simulazione, assieme alla schematizzazione dei principali edifici responsabili del building downwash, sono mostrate in **Figura 9**. La struttura dello stabilimento che ospita la maggior parte delle sorgenti non è stata considerata poiché sembra composta da griglie non completamente opache al vento. Per il building downwash sono stati considerati invece anche gli edifici dell'impianto di termodistruzione dei rifiuti della AISA Impianti, non mostrati in **Figura 9**.

Le caratteristiche geometriche delle sorgenti sono riepilogate in **Tabella 8**. E e N indicano le coordinate UTM nella zona 32T, H è l'altezza del camino e D il suo diametro.

Nel seguito vengono descritte le caratteristiche emissive degli scenari simulati.





**Figura 9.** Posizioni delle sorgenti e dei principali edifici.

**Tabella 8.** Caratteristiche geometriche delle sorgenti Safimet.

Sorgente	E (m)	N (m)	H (m)	D (m)
E1C2	728321	4812787	25.0	1.20
E4C2	728281	4812860	25.0	0.60
E4C3	728273	4812858	15.0	0.50
E7C13	728274	4812878	25.0	1.30
E5C1	728254	4812869	14.0	0.62
E2C3	728288	4812840	25.0	0.60
E2C4	728289	4812837	25.0	0.90
E3C2	728285	4812853	25.0	1.20
E3C3	728276	4812836	15.0	0.50
E6C1	728264	4812891	15.0	0.50
E10C1	728247	4812780	15.0	0.63

I camini sono stati descritti nel modello di simulazione per mezzo di sorgenti puntuali con rateo costante per 24 ore al giorno dal lunedì al sabato, e rateo nullo la domenica.

### 5.1.1 Scenario emissivo 1

Lo scenario emissivo 1 ha lo scopo di determinare le sole medie long term (medie annuali) utilizzando in input i valori limite emissivi (VLE) proposti da Safimet in sede di istanza autorizzativa (e successive integrazioni) e in linea con i range BAT-AEL di settore. Per il parametro PCDD/F + PCB-DL come valore limite (inteso come somma) è stato utilizzato quello proposto da Safimet pari a 0,1 ng WHO-TEQ/Nm<sup>3</sup> in linea con quanto attualmente autorizzato con la sostanziale differenza che ad oggi tale valore è autorizzato sui due parametri singolarmente mentre la proposta migliorativa è quella di considerarlo come sommatoria dei due parametri così facendo avvicinandosi significativamente al BAT-AEL di settore.

Nello scenario emissivo 1 per i parametri che presentano un VLE sia medio giornaliero sia medio semiorario è stato utilizzato il VLE medio giornaliero.

La Tabella 9 riepiloga i valori di portata volumetrica, temperatura e velocità dei fumi di ciascuna sorgente. La Tabella 10 e la **Tabella 11** riepilogano i valori di concentrazione nei fumi, mentre la Tabella 12 e la **Tabella 13** riepilogano i ratei emissivi. Si osserva che le PTS vengono cautelativamente simulate come PM10. I valori indicati per PCDD/F si riferiscono come detto al totale di PCDD/F più PCB-DL. Per quanto riguarda i metalli, quando i VLE vengono dati per la somma di più composti, facendo seguito alle già citate indicazioni di ARPA Toscana si assume cautelativamente il valore della somma per il composto di interesse all'interno del gruppo di metalli. Ad esempio, quando il VLE viene fornito per Cd+Tl, si assume tale valore per il solo Cd (si sono simulate le ricadute dei soli metalli aventi uno standard di qualità dell'aria o delle deposizioni di riferimento).

**Tabella 9.** Caratteristiche emissive delle sorgenti nello scenario 1.

Sorgente	Q (Nm <sup>3</sup> /h)	T (°C)	V (m/s)
E1C2	10000	110.0	8.6
E2C3	10000	110.0	13.8
E2C4	17000	110.0	13.8
E4C2	10000	110.0	13.8
E3C2	40000	110.0	13.8
E3C3	10000	26.0	15.5
E4C3	10000	26.0	15.5
E6C1	10000	25.0	15.4
E7C13	60000	55.0	15.1
E5C1	2500	25.0	2.3
E10C1	10000	30.0	10.0

**Tabella 10.** Concentrazioni nei fumi (mg/Nm<sup>3</sup>) delle sorgenti nello scenario 1 (parte 1).

Sorgente	NOX	CO	SOX	PTS	IPA	COT	PCDD/F	HCl
E1C2	120	30	40	5	0.01	10	1.00E-07	8.00
E2C3	120	30	40	5	0.01	10	1.00E-07	8.00
E2C4	120	30	40	5	0.01	10	1.00E-07	8.00
E4C2	120	30	40	5	0.01	10	1.00E-07	8.00
E3C2	0	0	100	5	0	50	0.00E+00	10.00
E3C3	0	0	100	5	0	50	0.00E+00	10.00
E4C3	0	0	50	5	0	50	0.00E+00	0.00
E6C1	0	0	0	5	0	0	0.00E+00	0.00
E7C13	100	0	100	5	0	0	0.00E+00	5.00
E5C1	0	0	0	10	0	0	0.00E+00	0.00
E10C1	0	0	0	5	0	0	0.00E+00	0.00

**Tabella 11.** Concentrazioni nei fumi (mg/Nm<sup>3</sup>) delle sorgenti nello scenario 1 (parte 2).

Sorgente	HF	NH3	HCN	Hg	Cd	Ni	As	Pb
E1C2	1.00	30.00	0.00	0.05	0.02	0.30	0.30	0.30
E2C3	1.00	30.00	0.00	0.05	0.02	0.30	0.30	0.30
E2C4	1.00	30.00	0.00	0.05	0.02	0.30	0.30	0.30
E4C2	1.00	30.00	0.00	0.05	0.02	0.30	0.30	0.30
E3C2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	1.00	0.00	5.00
E3C3	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	1.00	0.00	5.00
E4C3	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	1.00	0.00	5.00
E6C1	0.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E7C13	0.00	0.00	5.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
E5C1	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	1.00	0.00	5.00
E10C1	0.00	0.00	0.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00



**Tabella 12. Ratei emissivi delle sorgenti (g/s) nello scenario 1. Parte 1.**

Sorgente	NOX	CO	SOX	PTS	IPA	COT	PCDD/F	HCl
E1C2	3.33E-01	8.33E-02	1.11E-01	1.39E-02	2.78E-05	2.78E-02	2.78E-10	2.22E-02
E2C3	3.33E-01	8.33E-02	1.11E-01	1.39E-02	2.78E-05	2.78E-02	2.78E-10	2.22E-02
E2C4	5.67E-01	1.42E-01	1.89E-01	2.36E-02	4.72E-05	4.72E-02	4.72E-10	3.78E-02
E4C2	3.33E-01	8.33E-02	1.11E-01	1.39E-02	2.78E-05	2.78E-02	2.78E-10	2.22E-02
E3C2	0.00E+00	0.00E+00	1.11E+00	5.56E-02	0.00E+00	5.56E-01	0.00E+00	1.11E-01
E3C3	0.00E+00	0.00E+00	2.78E-01	1.39E-02	0.00E+00	1.39E-01	0.00E+00	2.78E-02
E4C3	0.00E+00	0.00E+00	1.39E-01	1.39E-02	0.00E+00	1.39E-01	0.00E+00	0.00E+00
E6C1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.39E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E7C13	1.67E+00	0.00E+00	1.67E+00	8.33E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.33E-02
E5C1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.94E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E10C1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.39E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

**Tabella 13. Ratei emissivi delle sorgenti (g/s) nello scenario 1. Parte 2.**

Sorgente	HF	NH3	HCN	Hg	Cd	Ni	As	Pb
E1C2	2.78E-03	8.33E-02	0.00E+00	1.39E-04	5.56E-05	8.33E-04	8.33E-04	8.33E-04
E2C3	2.78E-03	8.33E-02	0.00E+00	1.39E-04	5.56E-05	8.33E-04	8.33E-04	8.33E-04
E2C4	4.72E-03	1.42E-01	0.00E+00	2.36E-04	9.44E-05	1.42E-03	1.42E-03	1.42E-03
E4C2	2.78E-03	8.33E-02	0.00E+00	1.39E-04	5.56E-05	8.33E-04	8.33E-04	8.33E-04
E3C2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.11E-03	1.11E-03	1.11E-02	0.00E+00	5.56E-02
E3C3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.78E-04	2.78E-04	2.78E-03	0.00E+00	1.39E-02
E4C3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.78E-04	2.78E-04	2.78E-03	0.00E+00	1.39E-02
E6C1	0.00E+00	8.33E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E7C13	0.00E+00	0.00E+00	8.33E-02	0.00E+00	1.67E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E5C1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.94E-05	6.94E-05	6.94E-04	0.00E+00	3.47E-03
E10C1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.39E-02	1.39E-02	1.39E-02	1.39E-02	1.39E-02

Dalle tabelle si vede chiaramente come in particolare il valore limite da autorizzare di 5 mg/Nm<sup>3</sup> quale sommatoria di un set di metalli nella fattispecie per le emissioni E3C2, E3C3, E4C3, E5C1, E10C1 nel

momento in cui viene considerato per la singola emissione di Hg, Cd, Ni, As, Pb ne determina un rateo emissivo dell'ordine di  $10^{-2}$  grammi secondo chiaramente insostenibile per quel tipo di inquinante nonché estremamente distante dai ratei emissivi effettivi. Dal momento che in sede di monitoraggi i metalli vengono quantificati singolarmente e poi sommati per determinare il valore da confrontare con i limiti normati, sono individuabili delle soglie di attenzione facilmente verificabili sui singoli cinque metalli di interesse e per le citate cinque specifiche emissioni che potrebbero essere pari a  $0,05 \text{ mg/Nm}^3$ .

### 5.1.1 Scenario emissivo 2

Lo scenario emissivo 2 ha lo scopo di determinare le sole medie long term (medie annuali) per le diossine (PCDD/F+PCB-DL) utilizzando in input il valore limite (inteso come somma) di  $0,08 \text{ ng WHO-TEQ/Nm}^3$  in linea con il valore del range BAT-AEL di settore.

La **Tabella 14** riepiloga i valori di portata volumetrica, temperatura e velocità dei fumi di ciascuna sorgente. La **Tabella 15** riepiloga i valori di concentrazione nei fumi e i ratei emissivi delle quattro sorgenti coinvolte nello scenario 2.

**Tabella 14.** Caratteristiche emissive delle sorgenti nello scenario 2.

Sorgente	Q ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ )	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	V (m/s)
E1C2	10000	110.0	8.6
E2C3	10000	110.0	13.8
E2C4	17000	110.0	13.8
E4C2	10000	110.0	13.8

**Tabella 15.** Concentrazioni nei fumi ( $\text{mg/Nm}^3$ ) e ratei emissivi (g/s) delle sorgenti nello scenario 2.

Sorgente	Concentrazioni ( $\text{mg/Nm}^3$ )	Rateo (g/s)
E1C2	8.00E-08	2.22E-10
E2C3	8.00E-08	2.22E-10
E2C4	8.00E-08	3.78E-10
E4C2	8.00E-08	2.22E-10

### 5.1.1 Scenario emissivo 3

Lo scenario emissivo 3 ha lo scopo di determinare le sole medie short term utilizzando in input i VLE dello scenario emissivo 1 (per cui per i parametri aventi sia VLE medio giornaliero sia medio semiorario è stato considerato il primo). Questo scenario viene effettuato per i soli inquinanti per cui è stabilito un valore limite short term (NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>).

I valori di portata volumetrica, temperatura e velocità dei fumi di ciascuna sorgente sono riportati nella precedente **Tabella 9**. La **Tabella 16** riepiloga i valori di concentrazione nei fumi, mentre la **Tabella 17** riepiloga i ratei emissivi. Si osserva che le PTS vengono cautelativamente simulate come PM<sub>10</sub>.

**Tabella 16.** Concentrazioni nei fumi (mg/Nm<sup>3</sup>) delle sorgenti nello scenario 3.

Sorgente	NOX	CO	SOX	PTS
E1C2	120	30	40	5
E2C3	120	30	40	5
E2C4	120	30	40	5
E4C2	120	30	40	5
E3C2	0	0	100	5
E3C3	0	0	100	5
E4C3	0	0	50	5
E6C1	0	0	0	5
E7C13	100	0	100	5
E5C1	0	0	0	10
E10C1	0	0	0	5

**Tabella 17.** Ratei emissivi delle sorgenti (g/s) nello scenario 3.

Sorgente	NOX	CO	SOX	PTS
E1C2	3.33E-01	8.33E-02	1.11E-01	1.39E-02
E2C3	3.33E-01	8.33E-02	1.11E-01	1.39E-02
E2C4	5.67E-01	1.42E-01	1.89E-01	2.36E-02
E4C2	3.33E-01	8.33E-02	1.11E-01	1.39E-02
E3C2	0.00E+00	0.00E+00	1.11E+00	5.56E-02

E3C3	0.00E+00	0.00E+00	2.78E-01	1.39E-02
E4C3	0.00E+00	0.00E+00	1.39E-01	1.39E-02
E6C1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.39E-02
E7C13	1.67E+00	0.00E+00	1.67E+00	8.33E-02
E5C1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.94E-03
E10C1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.39E-02

### 5.1.1 Scenario emissivo 4

Lo scenario emissivo 4 ha lo scopo di determinare le sole medie short term e si differenzia dallo scenario emissivo 3 in quanto, per i parametri aventi sia VLE medio giornaliero sia medio semiorario, considera quest'ultimo. Questo scenario viene effettuato per i soli inquinanti per cui è stabilito un valore limite short term (NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>) e trattasi di una simulazione estremamente cautelativa in quanto presumerebbe che nel momento in cui si verificherebbero le condizioni meteo-climatiche che porterebbero alle peggiori ricadute inquinanti queste avverrebbero in circostanze di emissioni al valore massimo semiorario.

I valori di portata volumetrica, temperatura e velocità dei fumi di ciascuna sorgente sono riportati nella precedente **Tabella 9**. La **Tabella 18** riepiloga i valori di concentrazione nei fumi, mentre la **Tabella 19** riepiloga i ratei emissivi. Si osserva che le PTS vengono cautelativamente simulate come PM<sub>10</sub>.

**Tabella 18.** Concentrazioni nei fumi (mg/Nm<sup>3</sup>) delle sorgenti nello scenario 4.

Sorgente	NOX	CO	SOX	PTS
E1C2	300	100	150	20
E2C3	300	100	150	20
E2C4	300	100	150	20
E4C2	300	100	150	20
E3C2	0	0	100	5
E3C3	0	0	100	5
E4C3	0	0	50	5
E6C1	0	0	0	5
E7C13	100	0	100	5
E5C1	0	0	0	10
E10C1	0	0	0	5

*Tabella 19. Ratei emissivi delle sorgenti (g/s) nello scenario 3.*

Sorgente	NOX	CO	SOX	PTS
E1C2	8.33E-01	2.78E-01	4.17E-01	5.56E-02
E2C3	8.33E-01	2.78E-01	4.17E-01	5.56E-02
E2C4	1.42E+00	4.72E-01	7.08E-01	9.44E-02
E4C2	8.33E-01	2.78E-01	4.17E-01	5.56E-02
E3C2	0.00E+00	0.00E+00	1.11E+00	5.56E-02
E3C3	0.00E+00	0.00E+00	2.78E-01	1.39E-02
E4C3	0.00E+00	0.00E+00	1.39E-01	1.39E-02
E6C1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.39E-02
E7C13	1.67E+00	0.00E+00	1.67E+00	8.33E-02
E5C1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.94E-03
E10C1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.39E-02

## 5.2 Building downwash

Le sorgenti puntiformi come quelle considerate nello studio potrebbero risentire dell'effetto building downwash, le loro emissioni potrebbero cioè essere intrappolate nella scia degli edifici e dare luogo ad elevati valori di concentrazione a brevi distanze sottovento ad essi. Allo scopo di simulare tale effetto, le strutture opache al vento presenti nell'impianto sono state ricostruite tridimensionalmente in Google Earth (**Figura 9**), quindi i loro parametri sono stati utilizzati in input al processore BPIP. L'output di BPIP è stato utilizzato in CALPUFF per descrivere gli edifici.

# 6

## SIMULAZIONI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

### 6.1 Dati di output del modello CALMET

All'interno del dominio di simulazione di CALMET è presente una stazione meteorologica (codice USAF: 161720) situata in Arezzo, a circa 4 km a NE rispetto allo stabilimento considerato, più o meno alla stessa quota di questo (245 m slm). Tuttavia, tra lo stabilimento e la stazione meteorologica è presente un rilievo che arriva ad oltre 400 m di quota slm. La posizione della stazione meteorologica 161720 rispetto all'impianto è mostrata con un cerchio rosso in **Figura 10**. La stazione è stata posizionata utilizzando le coordinate ufficiali riportate negli archivi, si osserva tuttavia che tali coordinate potrebbero essere approssimate e la stazione potrebbe essere ubicata circa 1 km a sud in corrispondenza dell'aeroporto.

La stazione meteorologica è attiva dalle 05 alle 19 UTC, cioè dalle 06 alle 20 LST. I dati climatologici della stazione meteorologica sono stati recuperati dall'archivio GSOD (Global Summary of the Day) del NOAA ed utilizzati per creare una rosa del vento. Al fine di valutare la bontà della ricostruzione meteorologica del sistema WRF-CALMET, sono stati estratti i dati orari dall'output di CALMET dalla griglia di calcolo contenente la stazione meteorologica, e sono stati utilizzati per produrre la rosa del vento nell'intervallo orario di funzionamento della stazione. Le due rose del vento mostrate in **Figura 11** sono simili: entrambe indicano una direzione prevalente da ENE, venti frequenti dall'arco di nordest e una componente importante anche da SSW. I venti ricostruiti da CALMET sembrano più intensi, ma mentre sappiamo che CALMET fornisce i dati

al primo livello a 10 m di quota, non è nota l'altezza dell'anemometro della stazione (se fosse minore di 10 m sarebbero giustificati venti meno intensi).

La rosa dei venti ottenuta estraendo i dati di CALMET a 10 m sopra il suolo in un punto sopra l'impianto Safimet è mostrata in **Figura 12**. L'importante componente da SSE potrebbe essere dovuta al fatto che lo stabilimento si trova nella parte settentrionale della Valdichiana, che le masse d'aria possono risalire senza incontrare ostacoli orografici. Le rose del vento mensili sono mostrate in **Figura 13** mentre le rose del vento orarie sono mostrate in **Figura 14** e **Figura 15**.

La precipitazione totale per l'anno 2020 estratta da CALMET è pari a 846 mm in corrispondenza alla stazione meteorologica 161720, e 843 mm in corrispondenza allo stabilimento Safimet. Tali valori sono coerenti, anche se un po' più bassi, con la precipitazione cumulata di 905 mm per la provincia di Arezzo che si ottiene sommando i valori cumulati mensili riportati nel sito internet del Settore Idrologico e Geologico Regionale (SIR) \* della Toscana.



**Figura 10.** Posizione dello stabilimento Safimet (poligono verde) e della stazione climatologica (cerchio rosso).

\* <http://www.sir.toscana.it/report-idrologici>



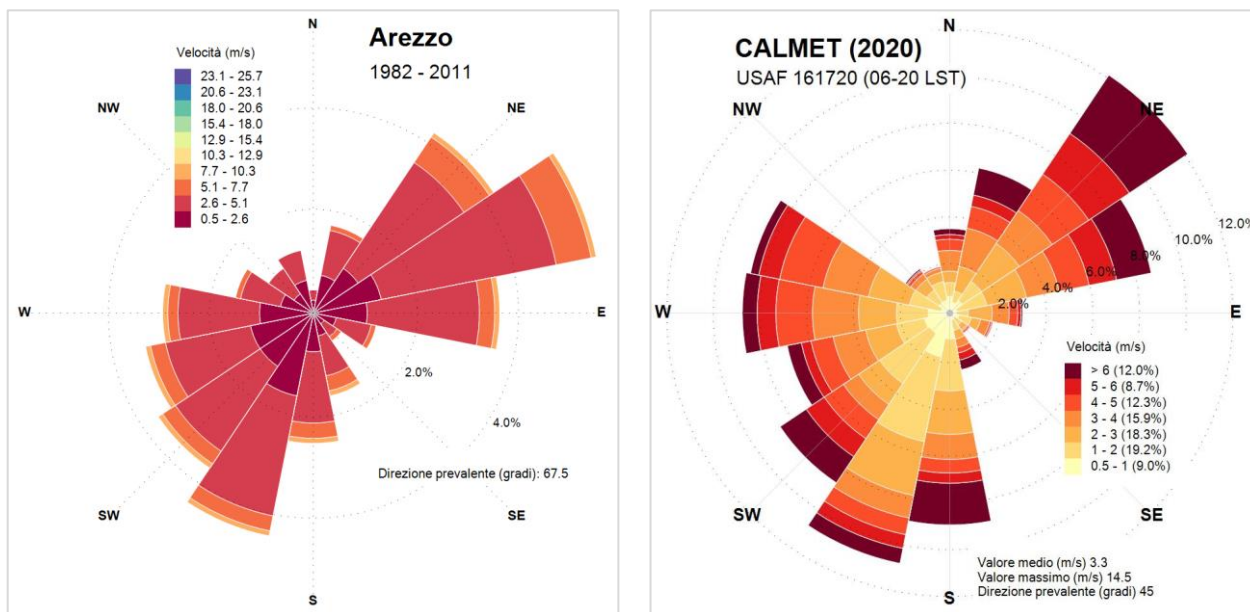


Figura 11. Rosa dei venti climatologica di Arezzo (sinistra) e rosa dei venti ottenuta da CALMET (destra).

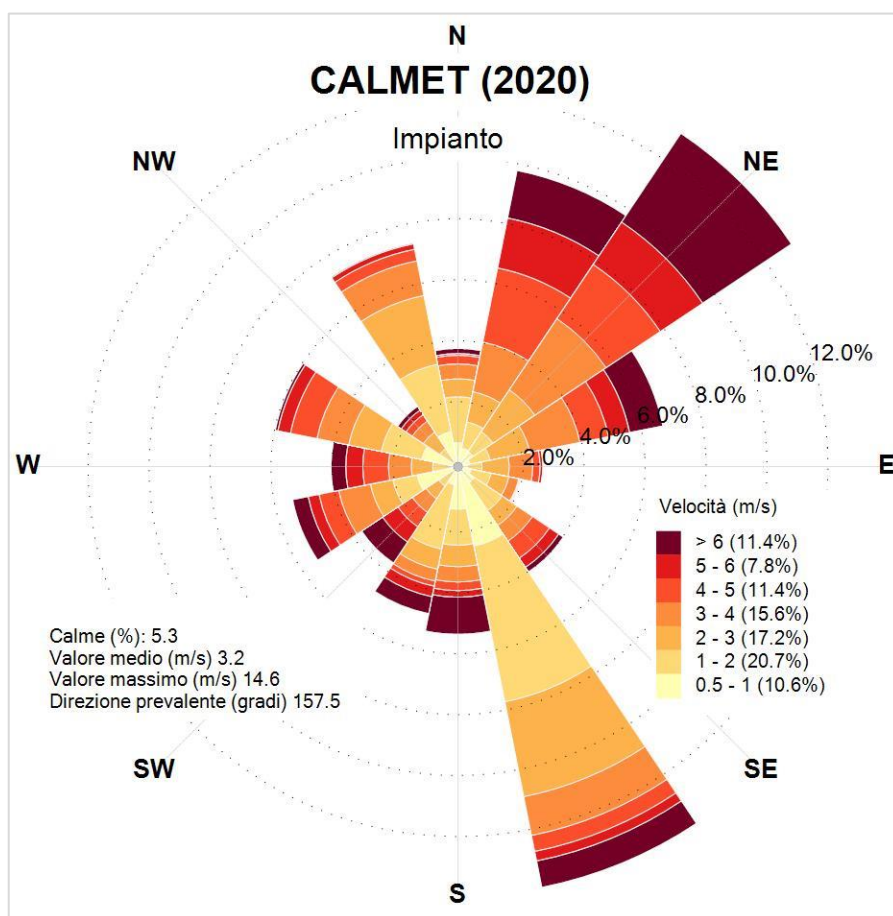


Figura 12. Rosa dei venti 2020 ottenuta estraendo i dati dai CALMET da un punto sopra lo stabilimento Safimet.



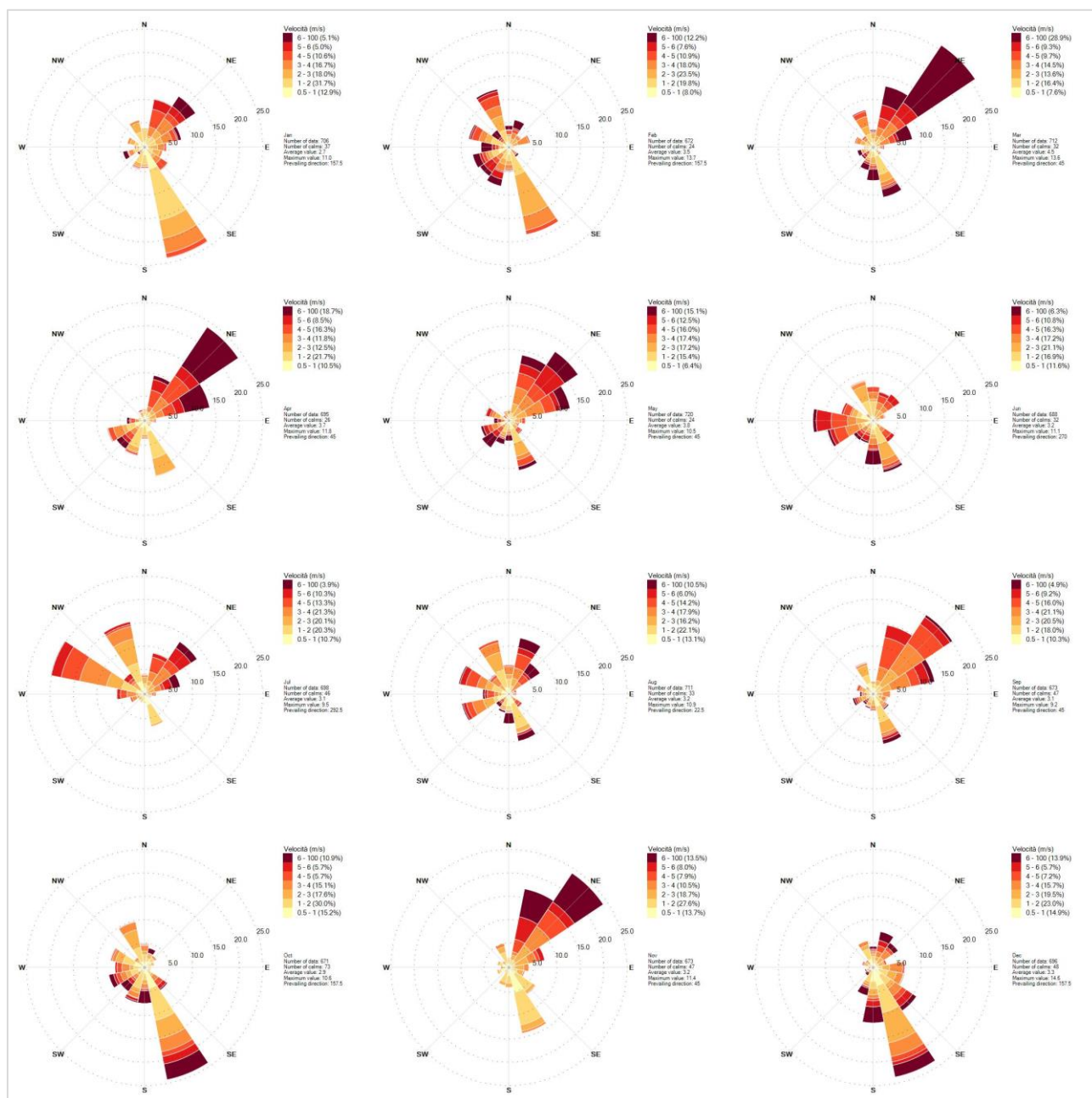


Figura 13. Rose dei venti 2020 mensili per un punto sopra lo stabilimento Safimet.

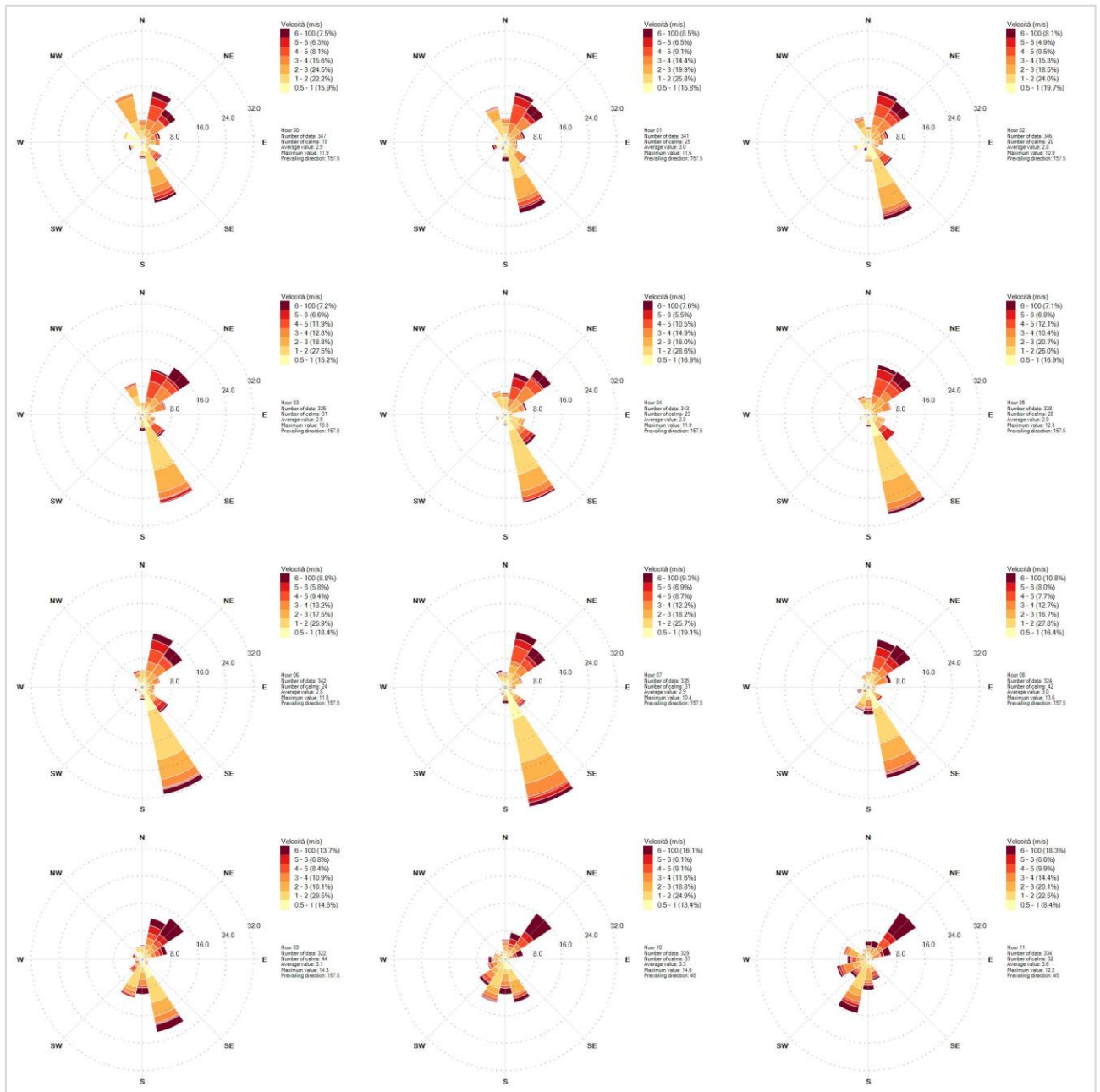


Figura 14. Rose dei venti 2020 orarie (00-11) per un punto sopra lo stabilimento Safimet.

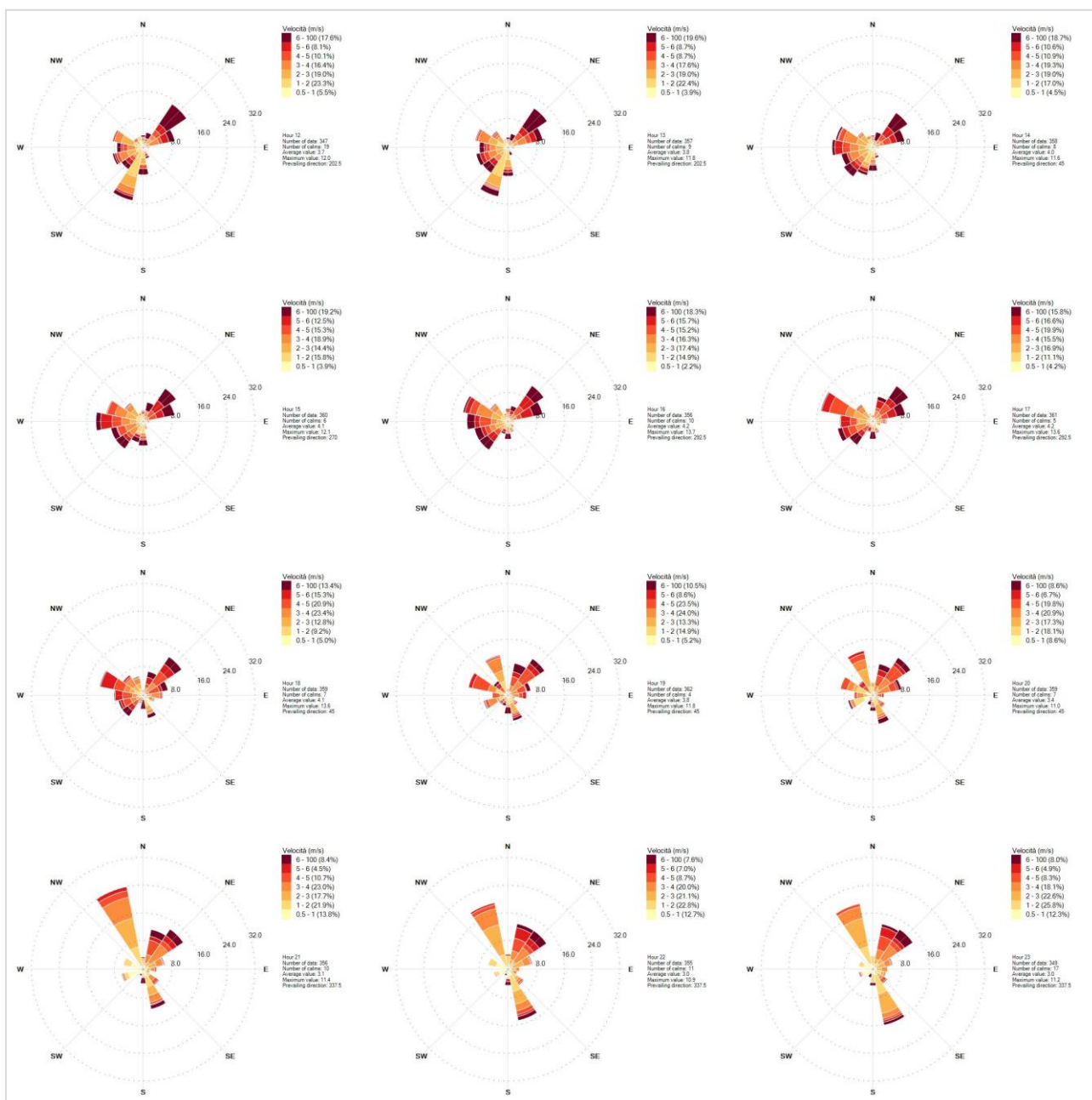


Figura 15. Rose dei venti 2020 orarie (12-23) per un punto sopra lo stabilimento Safimet.

## 6.2 Dati di input del modello CALPUFF

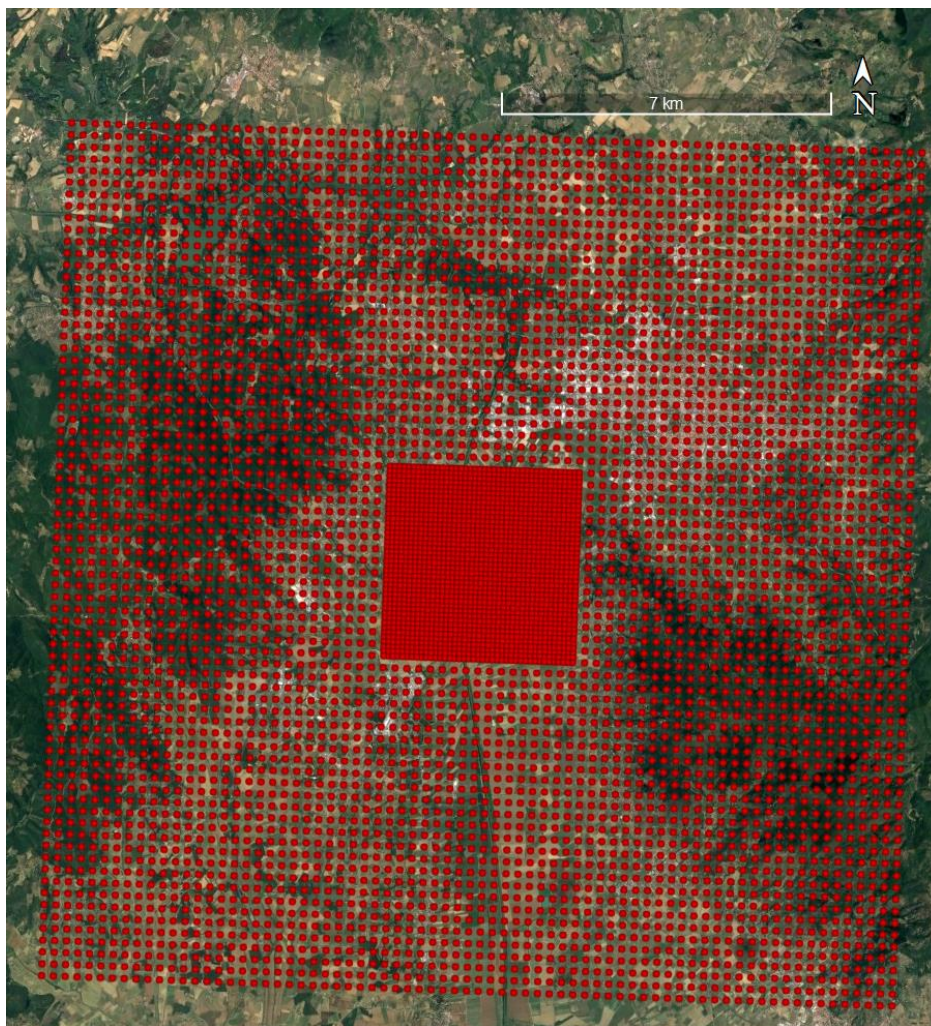
Le simulazioni di dispersione atmosferica degli inquinanti sono state effettuate utilizzando il modello CALPUFF (versione 7). Le simulazioni di dispersione sono state effettuate su un sottodominio del dominio meteorologico, selezionato in maniera tale da essere ragionevolmente sicuri che esso contenga i massimi di concentrazione.

Per la simulazione della dispersione atmosferica degli inquinanti è stato definito un dominio di



campionamento di  $18 \times 18 \text{ km}^2$  con nodi di calcolo distanziati di 100 m sino ad una distanza di 2 km dall'impianto (quindi su un quadrato di lato pari a 4 km), e nodi di calcolo distanziati di 250 m uno dall'altro a partire da 2 km dall'impianto e sino ai bordi del dominio. La posizione dei punti di calcolo sulle due griglie regolari è mostrata in **Figura 16**.

Oltre ai punti di calcolo su griglia regolare sono stati considerati alcuni recettori discreti posizionati in corrispondenza alle abitazioni più vicine allo stabilimento e ai principali centri abitati (**Figura 17**). Le coordinate metriche UTM 32T dei recettori discreti sono riportate in **Tabella 20**.



**Figura 16.** Recettori cartesiani posizionati a due diverse distanze.





**Figura 17. Recettori discreti**

**Tabella 20. Coordinate UTM 32T dei recettori discreti**

Recettore	Descrizione	E UTM (m)	N UTM (m)
R1	Residenza	728859	4813179
R2	Residenza	728860	4812460
R3	Residenza	728505	4812038
R4	Residenza	727639	4811484
R5	Residenza	727316	4812385
R6	Residenza	728309	4813592
R7	Arezzo	732913	4816294
R8	Olmo	729892	4812576
R9	Santa Firmina	732963	4813426
R10	Pieve al Toppo	726443	4809891
R11	Viciomaggio	724032	4812778

## 6.2.1 Diossine (PCDD/F+PCB-DL)

Per le diossine la simulazione è stata effettuata seguendo il metodo semplificato riportato in Giovannini (2020). Nello specifico, si è ipotizzata una ripartizione delle loro emissioni al 70% in fase particolato e al 30% in fase vapore. Per quanto riguarda la fase particolato, è stata considerata la sola classe PM (particulate matter), non la classe PMB (particle bound, composti assorbiti sulla superficie delle particelle).

Le diossine sono quindi state descritte in CALPUFF per mezzo di due specie: PCDDFGAS (vapore) e PCDDFPM (particolato). I valori di concentrazione e deposizione di tali specie sono stati poi sommati per ottenere i valori relativi alle diossine nella loro totalità.

La fase aerosol è stata descritta da un'unica distribuzione dimensionale caratterizzata da una media geometrica pari a 5.94  $\mu\text{m}$  e da una deviazione standard geometrica pari a 2.58  $\mu\text{m}$ .

Nella simulazione sono inoltre stati adottati tutti i parametri chimico/fisici indicati in Giovannini (2020) per la descrizione della deposizione secca e umida.

Poiché le emissioni sono disponibili come somma per PCDD/F+PCB\_DL, senza informazioni specifiche sulle due componenti, come indicato nel paragrafo 3.3 di Giovannini (2020), è stata effettuata un'unica simulazione per la somma delle due specie. I risultati si confronteranno poi con i riferimenti stabiliti per le PCDD/F.

## 6.2.2 Biossido di azoto (NO<sub>2</sub>)

Le emissioni di NO<sub>x</sub> da sorgenti di combustione avvengono prevalentemente nella forma di ossido di azoto (NO) e in minor parte in forma di biossido di azoto (NO<sub>2</sub>). Poiché è su NO<sub>2</sub> che sono posti i limiti di legge per la protezione della salute umana, sia in termini di media su 1 ora, sia in termini di media annuale, è utile stimare il più precisamente possibile le concentrazioni di tale inquinante. Il compito è reso complicato dal fatto che l'ossido di azoto (NO), una volta emesso in atmosfera subisce processi di ossidazione, in particolare ad opera dell'ozono (O<sub>3</sub>), che lo portano a trasformarsi in NO<sub>2</sub>.

La US-EPA propone tre metodi per stimare le concentrazioni di NO<sub>2</sub>. In ordine (tier) di complessità crescente, tali metodi prevedono:

- Tier1: Completa coincidenza tra le concentrazioni di NO<sub>2</sub> e quelle di NO<sub>x</sub>. È il metodo più conservativo.
- Tier 2: Ambient Ratio Method (ARM). Consiste nell'applicare un fattore di conversione empirico, ottenuto dai valori osservati in atmosfera di NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>, ai valori di concentrazione di NO<sub>x</sub> predetti dai modelli. Nella sua versione originale, a seguito dell'analisi di tali rapporti, l'EPA raccomandava di utilizzare un rapporto di conversione costante pari a 0.8 per determinare la concentrazione oraria di NO<sub>2</sub>.

- Tier 3. Questo livello include due diverse metodologie denominate OLM (Ozone Limiting Method) e PVMRM (Plume Volume Molar Ratio Method), le quali assumono che l'ossido di azoto emesso in atmosfera reagisca immediatamente con l'ozono per formare NO<sub>2</sub>. Il metodo OLM assume che l'ozono atmosferico sia istantaneamente miscelato nella piuma inquinante, mentre il metodo PVMRM determina il numero di moli di ozono che possono essere miscelate nella piuma inquinante in base all'estensione di quest'ultima. Questi due metodi sono più raffinati dei precedenti tiers, ma non considerano adeguatamente il miscelamento della piuma con l'ambiente circostante e i ratei delle reazioni chimiche (Podrez, 2015). Essi richiedono inoltre l'utilizzo di dati di concentrazione di ozono, e la conoscenza dell'in-stack ratio di ogni sorgente (cioè del rapporto NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> in fase di emissione).

Il metodo ARM2 (ARM versione 2), descritto da Podrez (2015), si basa sull'analisi dei valori orari di NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> di 580 stazioni di monitoraggio americane per un periodo di 10 anni. Sulla base di tale analisi il fattore di conversione da NO<sub>x</sub> a NO<sub>2</sub> viene descritto come un polinomio dipendente dalla concentrazione di NO<sub>x</sub>. ARM2 costituisce un miglioramento dell'approccio ARM, ed attualmente sostituisce il precedente approccio nel modello AERMOD (US-EPA, 2017).

Lupi et al. (2017) hanno condotto un'analisi dei dati di NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> misurati dalle stazioni di monitoraggio della Regione Toscana, e hanno proposto un'equazione polinomiale per descrivere il rapporto NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> più adatto per tale regione rispetto a quella presentata nella formulazione originale. Tale equazione, che verrà utilizzata nel seguito del lavoro per determinare le concentrazioni medie orarie di NO<sub>2</sub> dovute alle sorgenti di combustione, è la seguente:

$$R = A x^5 - B x^4 - C x^3 + D x^2 - E x + F$$

$$\text{Dove: } A = 6.0635\text{E-}15, B = 5.8028\text{E-}12, C = 5.1576\text{E-}9, D = 9.2741\text{E-}6, E = 4.7886\text{E-}3, F = 1.2647$$

Per la sorgente di affinazione (E7C13) si utilizzerà il tier 1 ipotizzando completa coincidenza tra NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>. Ad ogni ora di simulazione i valori di NO<sub>2</sub> calcolati per le sorgenti di combustione con ARM2 e per la sorgente di affinazione con il tier 1 sono stati sommati per ottenere il valore totale di NO<sub>2</sub>.

### 6.2.3 Ammoniaca (NH<sub>3</sub>)

Sander (2015) riporta una serie di valori per il coefficiente di Henry dell'ammoniaca, la cui media è pari a 0.54 mol/m<sup>3</sup>/Pa. Moltiplicando per 101325 Pa/atm si ottiene 54547 mol/m<sup>3</sup>/atm. Facendo l'inverso si ottiene 0.833E-05 atm m<sup>3</sup>/mol. Questo valore si trasforma nella versione adimensionale del coefficiente di Henry (richiesta da CALPUFF) moltiplicando per 40.784 (Tabella 2 di Sander, 2015). Si ottiene 0.0007477.

Il valore di diffusività in aria riportato da Tang et al. (2014) per l'ammoniaca è 176 Torr cm<sup>2</sup>/s. Dividendo tale valore per 760 Torr, si ottiene 0.232 cm<sup>2</sup>/s.

Per  $\alpha^*$  si assegna il valore 1, come per la maggior parte degli altri inquinanti (esclusa SO<sub>2</sub>).

Nel manuale di CALPUFF (Scire et al., 1998, pagina 2-119) si dice che per inquinanti solubili come SO<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub> la resistenza mesofila è pressoché nulla. Quindi per la mesophyll resistance si indica 0.

Sulla base della precedente analogia, per la reattività dell'ammoniaca si assume lo stesso valore usato in CALPUFF per SO<sub>2</sub> (8).

Anche per gli scavenging coefficients di NH<sub>3</sub> si utilizzano i valori di SO<sub>2</sub>, data la loro scarsa solubilità.

#### 6.2.4 Mercurio (Hg)

Per il mercurio si assume un'emissione all'80% in fase vapore e al 20% in fase aerosol (particle bound). La parte in fase vapore è suddivisa al 20% in forma elementale Hg<sup>0</sup> e al 60% in forma divalente Hg<sup>+2</sup> (US-EPA, 2005). Si considereranno quindi due specie in CALPUFF per descrivere Hg: HGGAS e HGPM.

Per il mercurio in fase gas, US-EPA (2021) riporta i valori in **Tabella 21**. Effettuando una media pesata sulle componenti gassose, si ottiene per la diffusività un valore pari a 0.0475 cm<sup>2</sup>/s ( $0.055 \cdot 0.2 + 0.045 \cdot 0.6$ ) / 0.8.

Per il coefficiente di Henry adimensionale, effettuando gli stessi passaggi descritti per NH<sub>3</sub>, e facendo la media pesata come per la diffusività, si ottiene  $H = 0.07235$ .

Il mercurio è poco solubile in acqua, avendo una solubilità pari a 0.000000639 g/l (vedi ad esempio <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed061p566.3> e <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed061p566.3>). Conseguentemente per la mesophyll resistance si usa un valore molto elevato come indicato anche da Xu et al. (2019). Per la mesophyll resistance si usa quindi il valore 25 s/cm.

Per la reattività Xu et al. (2019) indicano 2 per Hg<sup>0</sup> e 18 per Hg<sup>+2</sup>. Facendo la media pesata sulla composizione, come per la diffusività, si ottiene 14.

Per la fase aerosol di Hg (HGPM) verrà utilizzata la stessa distribuzione usata per le diossine: media geometrica pari a 5.94 µm e deviazione standard geometrica pari a 2.58 µm (Giovannini, 2020).



**Tabella 21.** Parametri di deposizione indicati da US-EPA (2021).

Pollutant	POLLUTID	Diffusivity in air (Da) (cm <sup>2</sup> /s)	Diffusivity in water (Dw) (cm <sup>2</sup> /s)	Cuticular resistance (rcl) (s/cm)	Henry's Law (Henry) (Pa m <sup>3</sup> /mol)
Elemental Mercury	HG0	0.055	6.4E-6	100000	719
Divalent Mercury	HGII	0.045	5.2E-6	100000	0.000072
Dioxin (as TCDD)	TCDD	0.05196	4.39E-6	9.67	1.46
PAH (as BaP)	BAP	0.0513	4.44E-6	0.441	0.046
SO <sub>2</sub>	SO2	0.1122	1.83E-5	732	72
NO <sub>2</sub>	NO2	0.1361	1.4E-5	12000	8444

### 6.2.5 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Si assume che gli IPA vengano emessi per il 21% in fase gas e per la rimanente parte in fase aerosol (US-EPA, 2005). Si considereranno quindi due specie in CALPUFF per descrivere IPA: IPAGAS e IPAPM.

Per gli IPA in fase gas US-EPA (2021) riporta i valori indicati nella precedente **Tabella 21** per PAH. Per la diffusività si usa quindi il valore 0.0513 cm<sup>2</sup>/s.

Per il coefficiente di Henry adimensionale, effettuando gli stessi passaggi descritti per NH<sub>3</sub> si ottiene  $H = 1.85E5$ .














Come mostrato da Patel et al. (2020), gli IPA sono idrofobici e poco solubili in acqua. I valori di solubilità in acqua in termini di mg/l vengono riportati in **Tabella 22** e in **Tabella 23**. Prendendo a riferimento il benzo(a)pirene come usuale, la solubilità vale 0.0038 mg/l. Conseguentemente per la mesophyll resistance si usa un valore molto elevato (25 s/cm).

SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> hanno resistenza cuticolare alta (**Tabella 21**) e reattività pari a 8 come default di CALPUFF. Gli IPA hanno resistenza cuticolare bassa (**Tabella 21**) quindi, poiché la reattività è un coefficiente moltiplicativo della resistenza cuticolare rispetto al valore di riferimento per SO<sub>2</sub> (si veda il manuale di CALPUFF), si adotta per gli IPA un valore di reattività pari a 2.

Per la fase aerosol degli IPA verrà utilizzata la stessa distribuzione usata per le diossine: media geometrica pari a 5.94 µm e deviazione standard geometrica pari a 2.58 µm (Giovannini, 2020).

**Tabella 22. Proprietà chimico fisiche degli IPA (Patel et al., 2020).**




**TABLE 1 |** Physicochemical properties of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons (Yan et al., 2004; Bojes and Pope, 2007; Ravindra et al., 2008; Lee and Vu, 2010; Ghosal et al., 2016).

Name	Formula	Structure	Molecular weight (g/mole)	Solubility in water (mg/L)	Phase distribution	Melting point (°C)	Boiling point (°C)	Vapor pressure (mmHg)	Log Kow	Log Koc	Toxicity as per IARC
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>		128.17	31	Gas	80.26	218	0.087	3.29	2.97	2B
Acenaphthene	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>		154.21	3.8	Gas	95	96	4.47 × 10 <sup>-3</sup>	3.98	3.86	3
Acenaphthylene	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>		152.20	16.1	Gas	92-93	265-275	0.029	4.07	1.40	3
Anthracene	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>		178.23	0.045	Particle gas	218	340-342	1.75 × 10 <sup>-6</sup>	4.45	4.15	3
Phenanthrene	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>		178.23	1.1	Particle gas	100	340	6.8 × 10 <sup>-4</sup>	4.45	4.15	3
Fluorene	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>		166.22	1.9	Gas	116-117	295	3.2 × 10 <sup>-4</sup>	4.18	3.86	3
Fluoranthene	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>		202.26	0.26	Particle gas	110.8	375	5.0 × 10 <sup>-6</sup>	4.90	4.58	3
Benzo(a)anthracene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>		228.29	0.011	Particle	158	438	2.5 × 10 <sup>-8</sup>	5.61	5.30	2B
Chrysene	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>		228.29	0.0015	Particle	254	448	6.4 × 10 <sup>-9</sup>	5.9	No data	2B
Pyrene	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>		202.26	0.132	Particle gas	156	393-404	2.5 × 10 <sup>-6</sup>	4.88	4.58	3
Benzo(a)pyrene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>		252.32	0.0038	Particle	179-179.3	495	5.6 × 10 <sup>-9</sup>	6.06	6.74	1
Benzo(b)fluoranthene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>		252.32	0.0015	Particle	168.3	No data	5.0 × 10 <sup>-7</sup>	6.04	5.74	2B
Benzo(k)fluoranthene	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>		252.32	0.0008	Particle	215.7	480	9.59 × 10 <sup>-11</sup>	6.06	5.74	2B

(Continued)

**Tabella 23. Proprietà chimico fisiche degli IPA (Patel et al., 2020).**

**TABLE 1 |** Continued

Name	Formula	Structure	Molecular weight (g/mole)	Solubility in water (mg/L)	Phase distribution	Melting point (°C)	Boiling point (°C)	Vapor pressure (mmHg)	Log Kow	Log Koc	Toxicity as per IARC
Dibenz(a,h)anthracene	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>		278.35	0.0005	Particle	262	No data	1 × 10 <sup>-10</sup>	6.84	6.52	2A
Benzo(g,h,i)perylene	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>		276.34	0.00026	Particle	273	550	1.03 × 10 <sup>-10</sup>	6.50	6.20	3
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>		276.34	0.062	Particle	163.6	530	10 <sup>-10</sup> -10 <sup>-16</sup>	6.58	6.20	2B

## 6.2.6 Altri metalli

Gli altri metalli (oltre al Hg) verranno considerati al 100% in fase particolato.

Verrà utilizzata la stessa distribuzione dimensionale usata per le diossine: media geometrica pari a 5.94  $\mu\text{m}$  e deviazione standard geometrica pari a 2.58  $\mu\text{m}$  (Giovannini, 2020).

## 6.2.7 Polveri

Si assume cautelativamente che i valori emissivi forniti per PTS si riferiscano a PM10, in questo modo le emissioni di PM10 vengono sovrastimate.

Per quanto riguarda la distribuzione granulometrica, non conoscendo quanta massa viene emessa all'interno di ciascun intervallo, verrà considerata un'unica distribuzione dimensionale descritta dai valori di media geometrica e deviazione standard geometrica riportate in grassetto in **Tabella 24**: media geometrica pari a 3.86  $\mu\text{m}$  e deviazione standard geometrica pari a 1.97  $\mu\text{m}$ .

**Tabella 24.** Parametri della distribuzione lognormale di PM10.

	Lower ( $\mu\text{m}$ )	Upper ( $\mu\text{m}$ )	Media ( $\mu\text{m}$ )
PM2.5	0.01	2.5	1.58
PM2.5-6	2.5	6	4.48
PM6-10	6	10	8.16
	<b>Media geom (<math>\mu\text{m}</math>)</b>		<b>3.86</b>
	<b>Dev Std geom (<math>\mu\text{m}</math>)</b>		<b>1.97</b>

## 6.3 Risultati

### 6.3.1 Scenario 1

Lo scenario emissivo 1 ha lo scopo di determinare le sole medie long term (medie annuali) utilizzando in input i valori limite emissivi (VLE) proposti da Safimet in sede di istanza autorizzativa (e successive integrazioni) e in linea con i range BAT-AEL di settore. Per il parametro PCDD/F + PCB-DL come valore limite (inteso come somma) è stato utilizzato quello proposto da Safimet pari a 0,1 ng WHO-TEQ/Nm<sup>3</sup> in linea con quanto attualmente autorizzato con la sostanziale differenza che ad oggi tale valore è autorizzato sui due parametri singolarmente mentre la proposta migliorativa è quella di considerarlo come sommatoria dei due parametri così facendo avvicinandosi significativamente al BAT-AEL di settore.

Nello scenario emissivo 1 per i parametri che presentano un VLE sia medio giornaliero sia medio semiorario è stato utilizzato il VLE medio giornaliero.

I valori massimi di concentrazione predetti per tutti gli inquinanti sul dominio di calcolo all'esterno del perimetro di impianto sono riportati in **Tabella 25**. La stessa tabella indica le coordinate del punto in cui viene

determinato il valore massimo. Le medie annuali predette ai recettori discreti sono invece riportate in **Tabella 26** e **Tabella 27**. I valori elevati calcolati per i metalli sono dovuti all'ipotesi estremamente cautelativa di utilizzare per ogni singola specie il valore limite di concentrazione riferito all'intera sommatoria. Esclusi i metalli, le altre specie rispettano i valori limiti o i parametri di riferimento descritti nei paragrafi precedenti.

Si osserva che con PCDDF si intende la somma di PCDD/F e PCB-DL.

**Tabella 25.** Valori massimi delle medie annuali all'esterno dell'impianto. Scenario 1.

Inquinante	Easting (m)	Northing (m)	Media annuale	SQA
As ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	728200	4812700	0.20	0.006
Cd ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	728200	4812700	0.20	0.005
COV ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	728300	4812900	3.56	-
CO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	728200	4812700	0.63	-
HCl ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	728200	4812700	0.56	-
HCN ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	728400	4813000	0.09	-
HF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	728200	4812700	0.02	-
NH <sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	728200	4812800	1.44	-
Ni ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	728200	4812700	0.26	0.02
NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	728300	4813000	4.28	40
Pb ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	728200	4812700	0.49	0.5
PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	728200	4812800	0.82	40
SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	728300	4812900	6.68	20
IPA ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	728200	4812700	0.21	1
Hg ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	728200	4812700	0.20	-
PCDDF ( $\text{fg}/\text{m}^3$ )	728200	4812700	2.08	40

**Tabella 26.** Medie annuali ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ai recettori discreti. Scenario 1 (parte 1).

Recettore	As	Cd	CO	COV	HCl	HCN	HF	NH <sub>3</sub>
R1	0.007	0.007	0.34	0.14	0.11	0.025	0.005	0.18
R2	0.010	0.009	0.29	0.12	0.09	0.017	0.004	0.16
R3	0.011	0.011	0.16	0.04	0.03	0.006	0.001	0.07
R4	0.008	0.008	0.28	0.12	0.08	0.017	0.004	0.16
R5	0.006	0.006	0.22	0.08	0.06	0.015	0.003	0.12
R6	0.008	0.008	0.34	0.13	0.11	0.027	0.004	0.18
R7	0.000	0.000	0.02	0.01	0.01	0.002	0.000	0.01
R8	0.002	0.002	0.11	0.04	0.03	0.007	0.001	0.06
R9	0.000	0.000	0.02	0.01	0.01	0.002	0.000	0.01
R10	0.002	0.002	0.10	0.05	0.03	0.008	0.002	0.06
R11	0.000	0.000	0.02	0.01	0.01	0.002	0.000	0.01

**Tabella 27.** Medie annuali ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PCDDF in  $\text{fg}/\text{m}^3$ ) ai recettori discreti. Scenario 1 (parte 2).

Recettore	Ni	NO2	Pb	PM10	SO2	IPA	Hg	PCDDF
R1	0.013	1.04	0.037	0.09	1.17	0.045	0.007	0.451
R2	0.015	0.81	0.037	0.08	0.93	0.038	0.010	0.380
R3	0.015	0.27	0.030	0.05	0.40	0.012	0.012	0.125
R4	0.013	0.79	0.032	0.08	0.89	0.037	0.008	0.373
R5	0.010	0.62	0.025	0.06	0.72	0.027	0.006	0.271
R6	0.014	1.05	0.037	0.10	1.21	0.043	0.008	0.430
R7	0.001	0.08	0.002	0.01	0.09	0.003	0.000	0.029
R8	0.004	0.32	0.012	0.03	0.36	0.014	0.003	0.140
R9	0.001	0.06	0.002	0.01	0.07	0.002	0.000	0.024
R10	0.004	0.35	0.010	0.03	0.38	0.014	0.002	0.146
R11	0.001	0.06	0.002	0.01	0.07	0.002	0.000	0.023

I valori massimi del flusso medio di deposizione giornaliera sul dominio di calcolo all'esterno del perimetro di impianto sono riportati in **Tabella 28**, che indica anche le coordinate del punto in cui viene determinato il valore massimo. Il flusso di deposizione giornaliero medio predetto ai recettori discreti è invece riportato in **Tabella 29** e **Tabella 30**. I valori elevati calcolati per i metalli sono dovuti all'ipotesi estremamente cautelativa di utilizzare per ogni singola specie il valore limite di concentrazione riferito all'intera sommatoria. Esclusi i metalli, le altre specie rispettano i valori limiti o i parametri di riferimento descritti nei paragrafi precedenti.

**Tabella 28.** Valori massimi di deposizione giornaliera media ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{giorno}$ , PCDDF in  $\text{pg}/\text{m}^2/\text{giorno}$ ) all'esterno dell'impianto. Scenario 1.

Inquinante	Easting (m)	Northing (m)	Flusso giornaliero	Riferimento
As	728200	4812700	445	4
Cd	728200	4812700	445	2
NH3	728200	4812800	539	-
Ni	728200	4812700	574	15
NOX	728300	4812900	1478	-
Pb	728200	4812700	1092	100
PM10	728200	4812800	889	-
SO2	728300	4812900	3167	-
Hg	728200	4812700	133	1
IPA	728200	4812700	0.4	-
PCDDF	728200	4812700	3.8	4



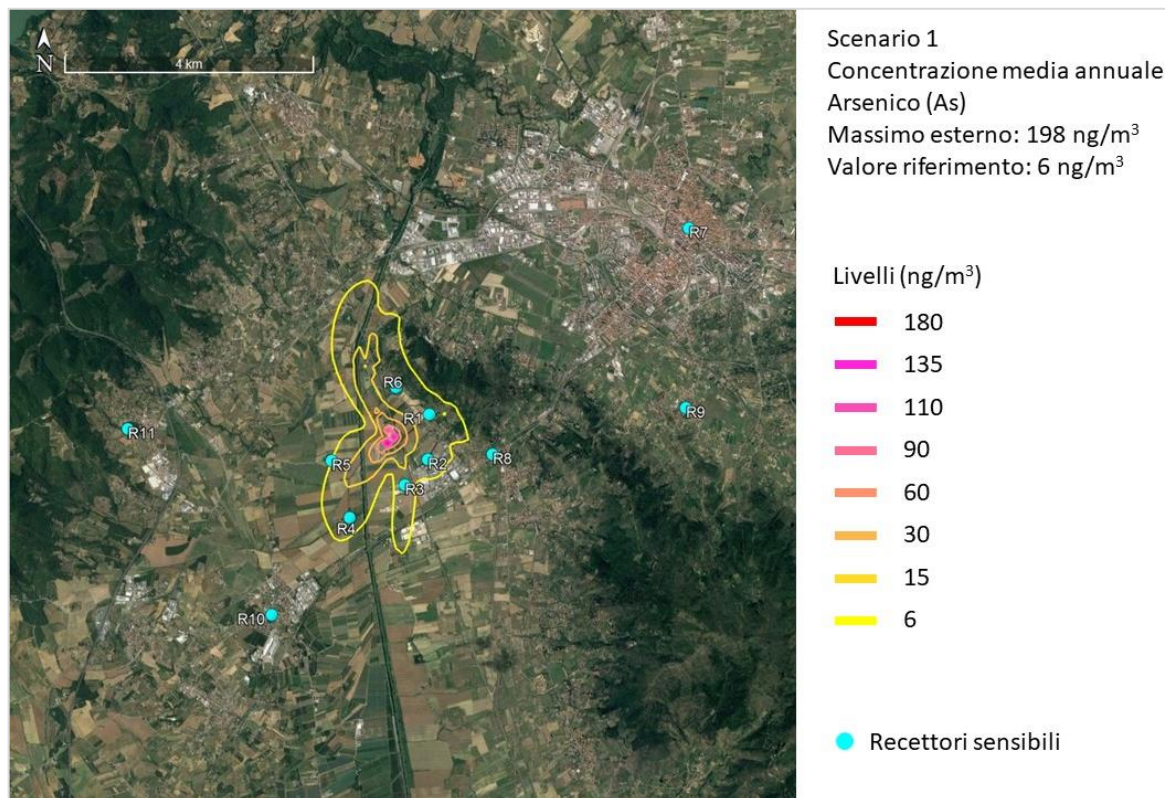
**Tabella 29.** Deposizione giornaliera media ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{giorno}$ ) ai recettori discreti. Scenario 1 (parte 1).

Recettore	As	Cd	NH3	Ni	NOx	Pb
R1	11.4	11.0	76.7	21.7	323.8	63.2
R2	12.8	12.4	59.2	21.3	245.3	55.1
R3	10.5	10.6	22.3	14.5	85.5	30.4
R4	9.5	9.2	35.5	15.7	168.5	40.5
R5	8.0	8.0	39.6	14.6	182.9	40.9
R6	11.4	11.3	66.7	22.1	319.8	64.7
R7	0.7	0.7	2.4	1.5	14.0	4.4
R8	3.4	3.3	16.9	6.2	79.6	17.6
R9	0.6	0.6	3.4	1.2	17.7	3.6
R10	4.4	4.3	9.8	8.2	55.4	23.3
R11	0.3	0.3	2.1	0.5	12.0	1.6

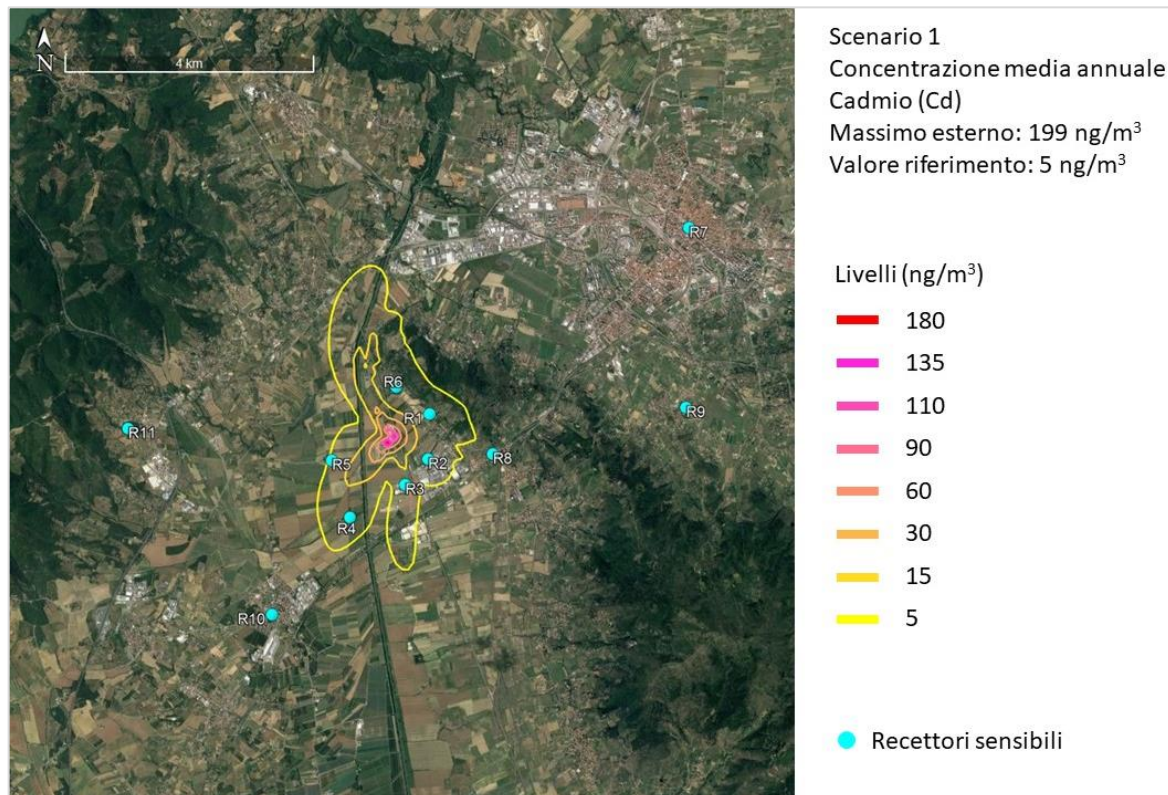
**Tabella 30.** Deposizione giornaliera media ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{giorno}$ , PCDDF in  $\text{pg}/\text{m}^2/\text{giorno}$ ) ai recettori discreti. Scenario 1 (parte 2).

Recettore	PM10	SO2	Hg	IPA	PCDDF
R1	67.3	429.2	3.5	0.1	0.6
R2	51.6	318.5	4.0	0.1	0.5
R3	17.9	120.5	4.1	0.0	0.1
R4	38.9	196.5	3.1	0.0	0.4
R5	48.8	236.2	2.5	0.0	0.3
R6	78.5	406.9	3.6	0.1	0.6
R7	6.2	16.6	0.2	0.0	0.0
R8	19.0	100.8	1.0	0.0	0.2
R9	4.6	22.5	0.2	0.0	0.0
R10	33.0	62.9	1.1	0.0	0.2
R11	1.4	14.4	0.1	0.0	0.0

Le mappe di concentrazione media annuale degli inquinanti sono mostrate da **Figura 18** a **Figura 33**. I flussi medi giornalieri di deposizione sono mostrati da **Figura 34** a **Figura 44**.

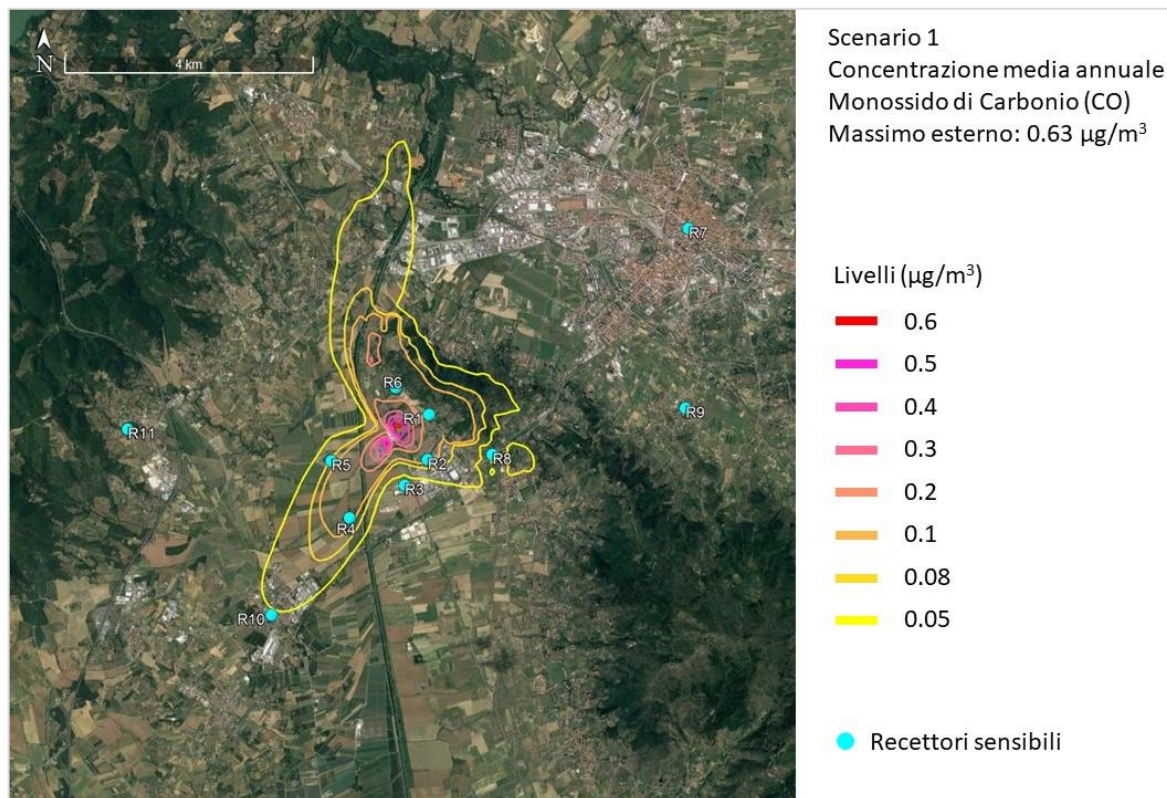


**Figura 18.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di As. Scenario 1.

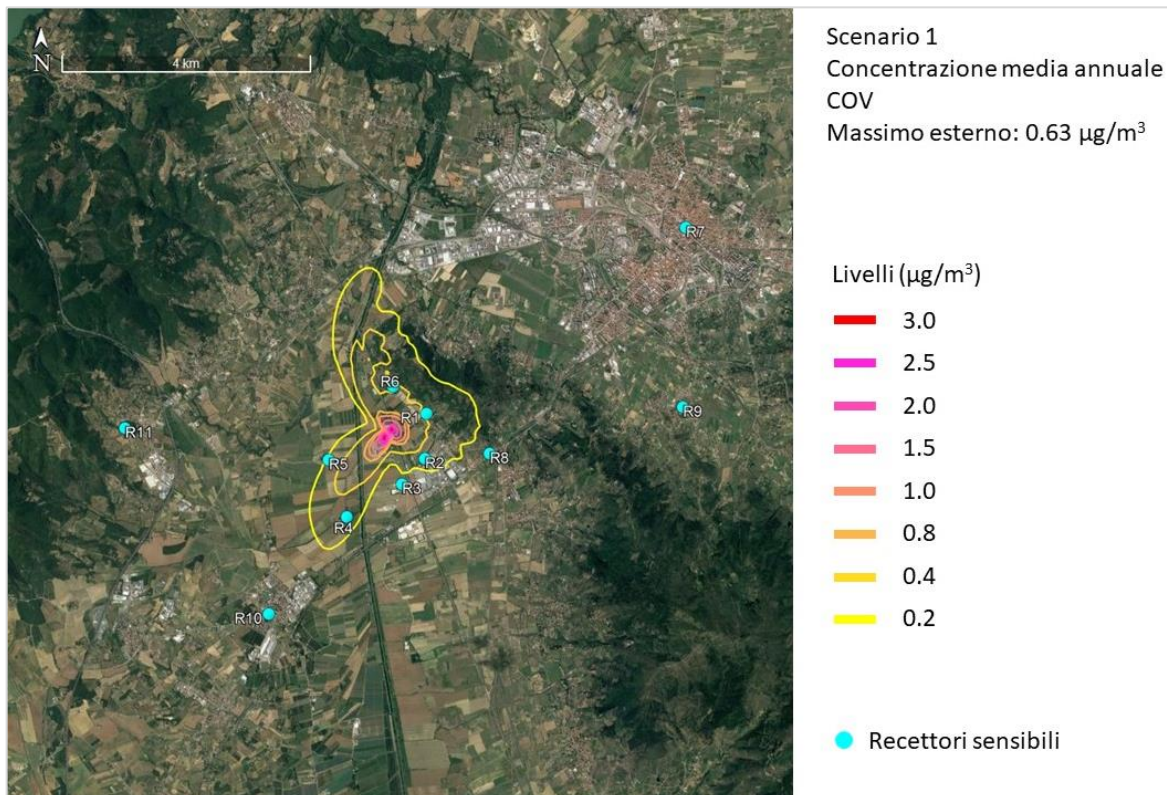


**Figura 19.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di Cd. Scenario 1.



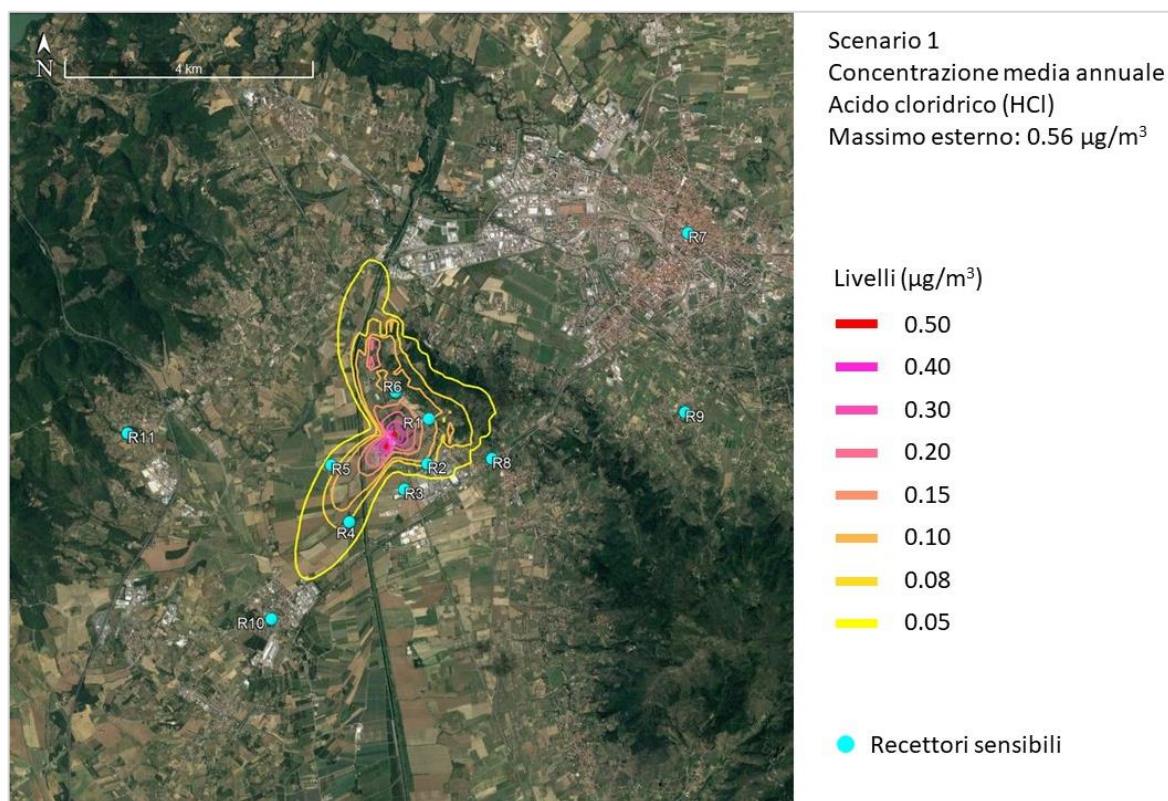


**Figura 20.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di CO. Scenario 1.

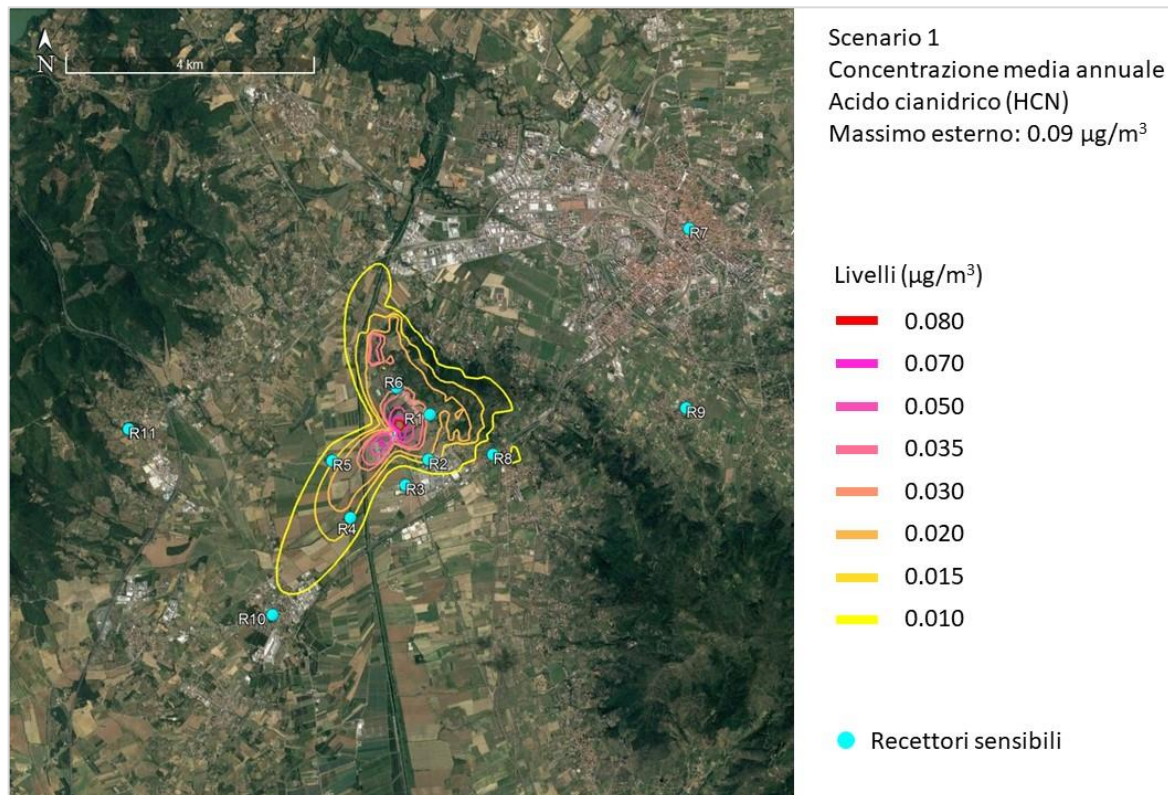


**Figura 21.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di COV. Scenario 1.



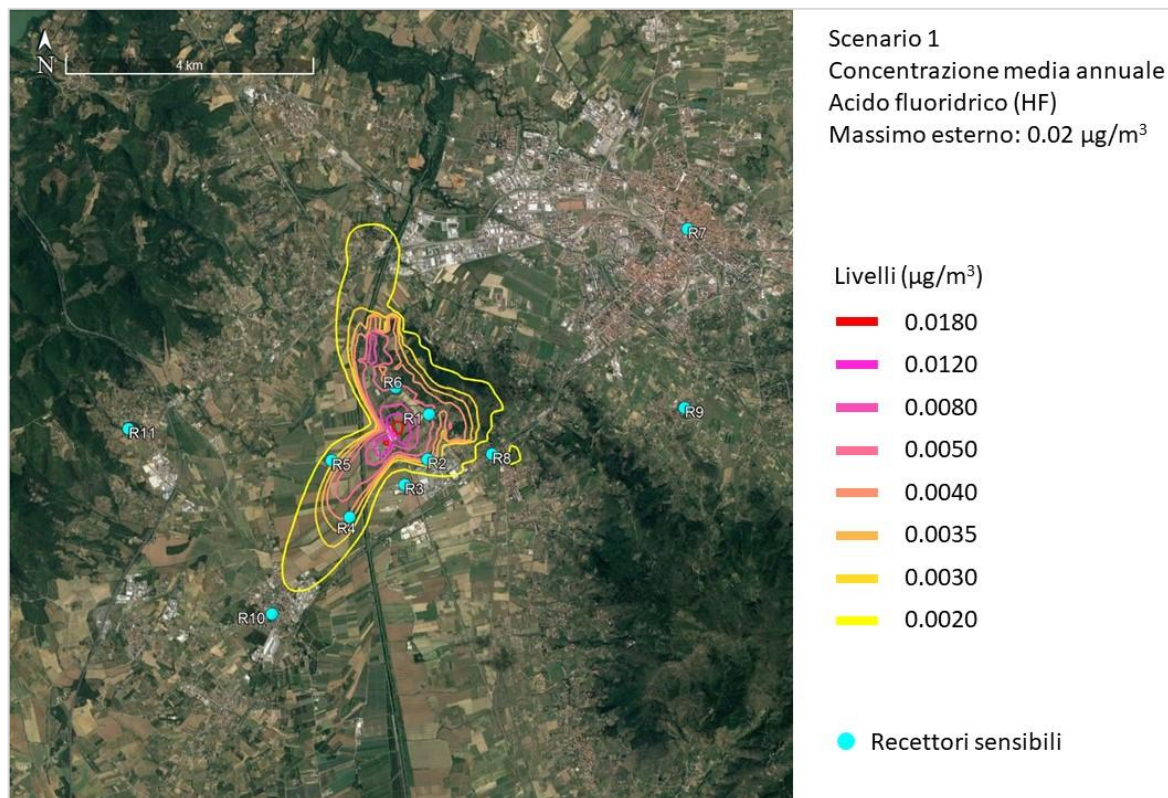


**Figura 22.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di HCl. Scenario 1.

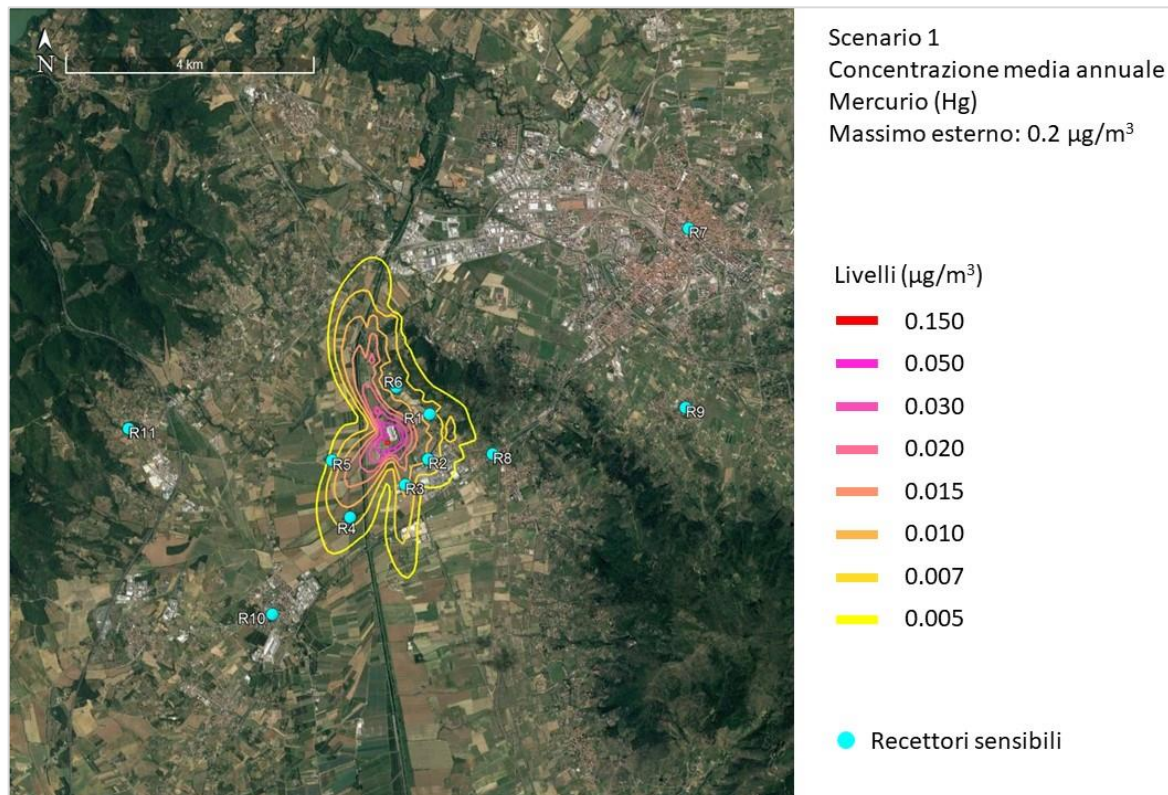


**Figura 23.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di HCN. Scenario 1.



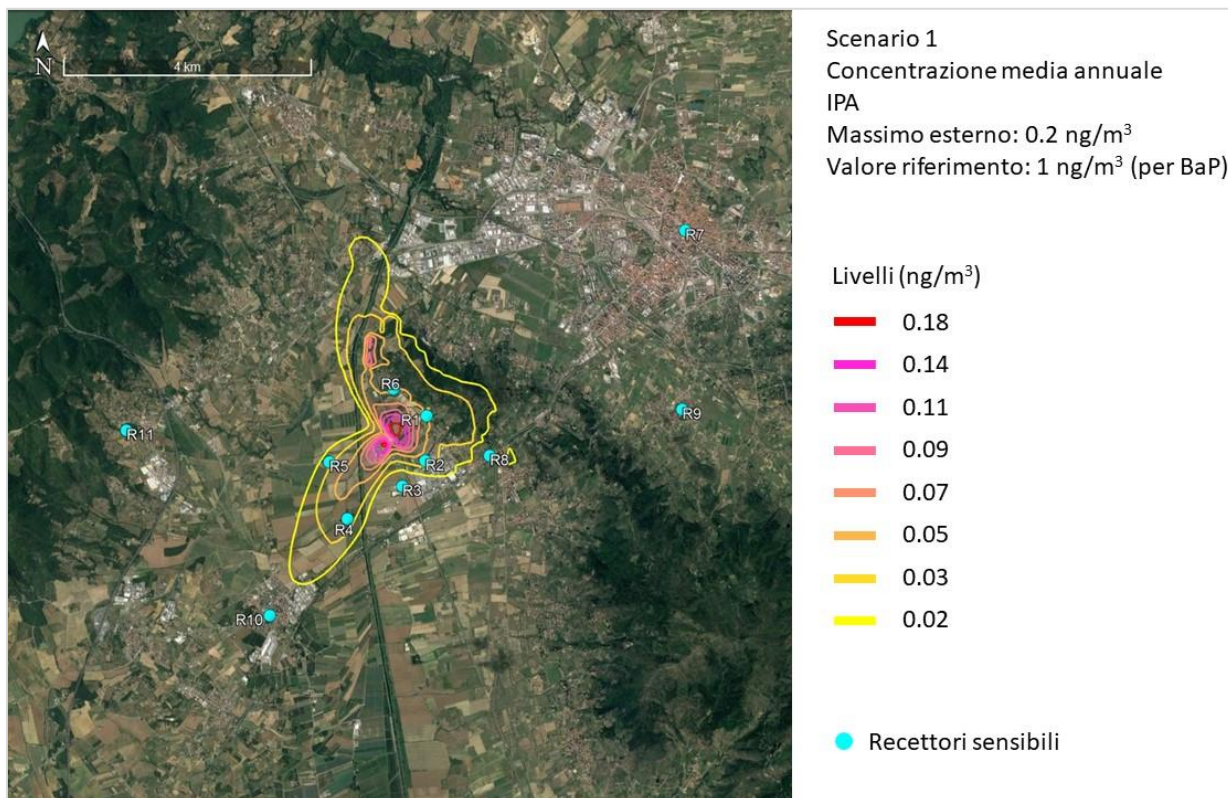


**Figura 24.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di HF. Scenario 1.

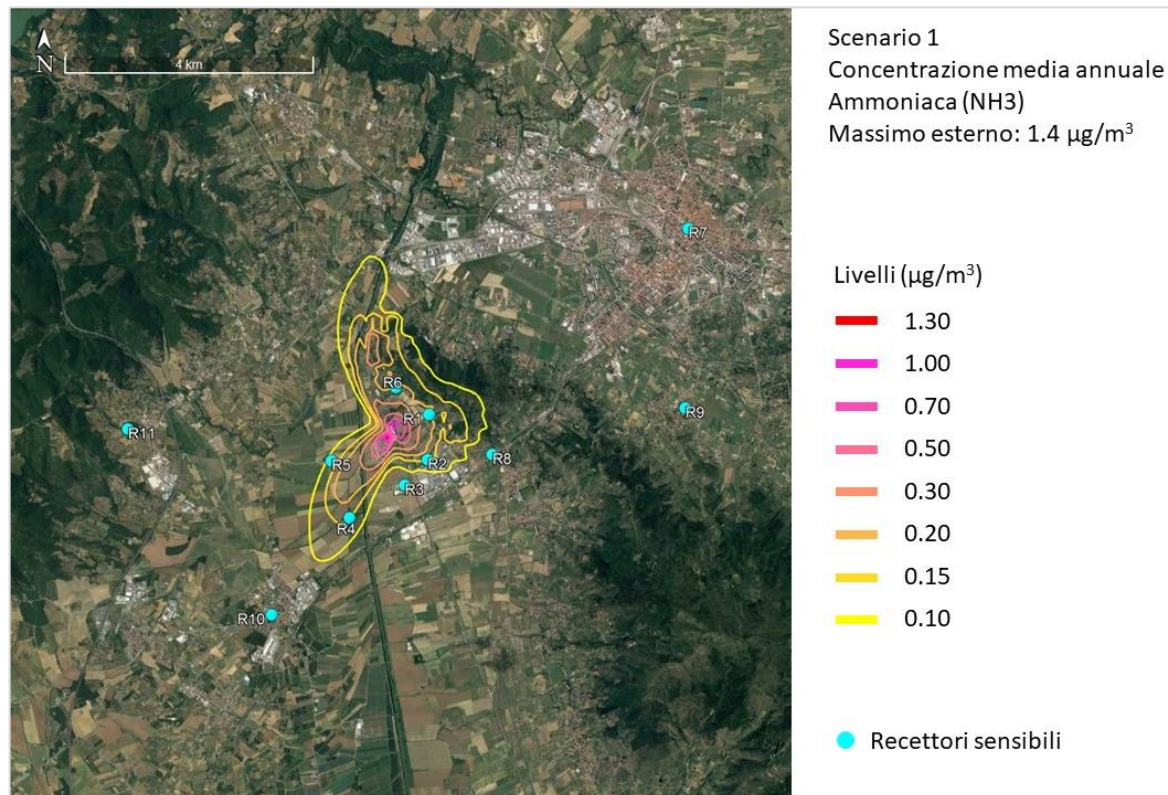


**Figura 25.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di Hg. Scenario 1.



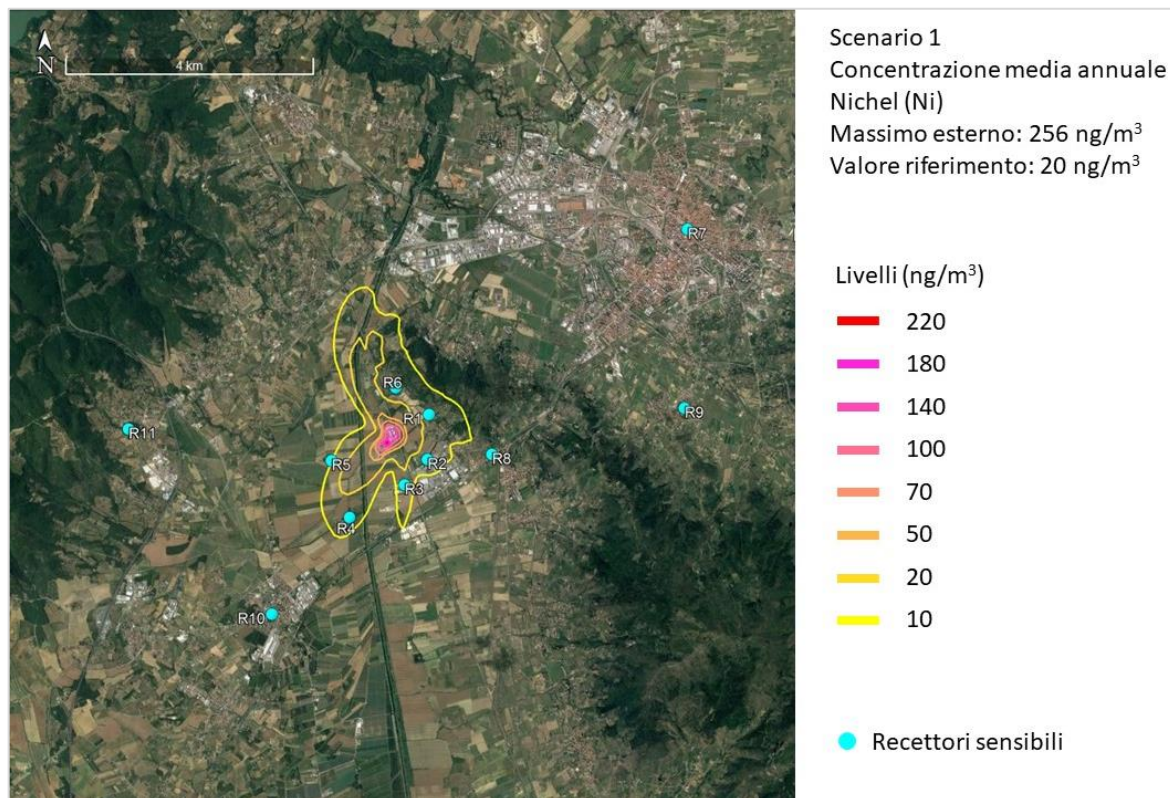


**Figura 26.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di IPA. Scenario 1.

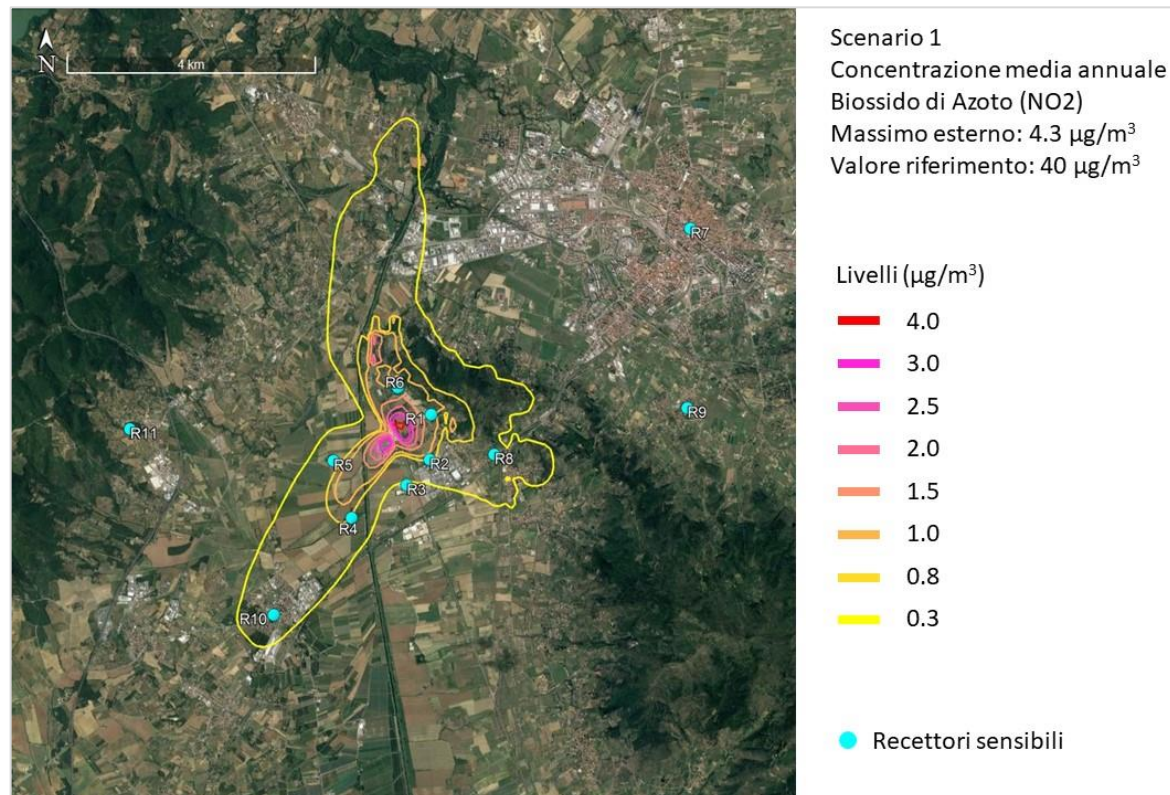


**Figura 27.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di  $\text{NH}_3$ . Scenario 1.



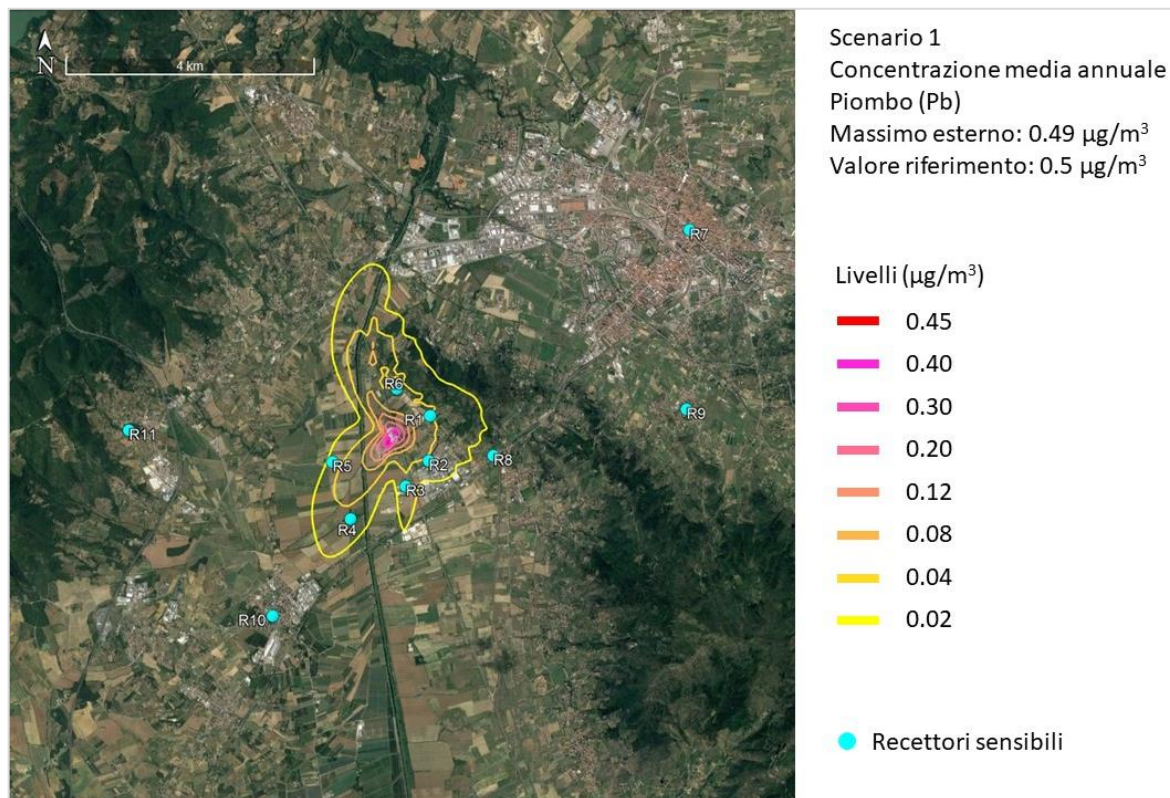


**Figura 28.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di Ni. Scenario 1.

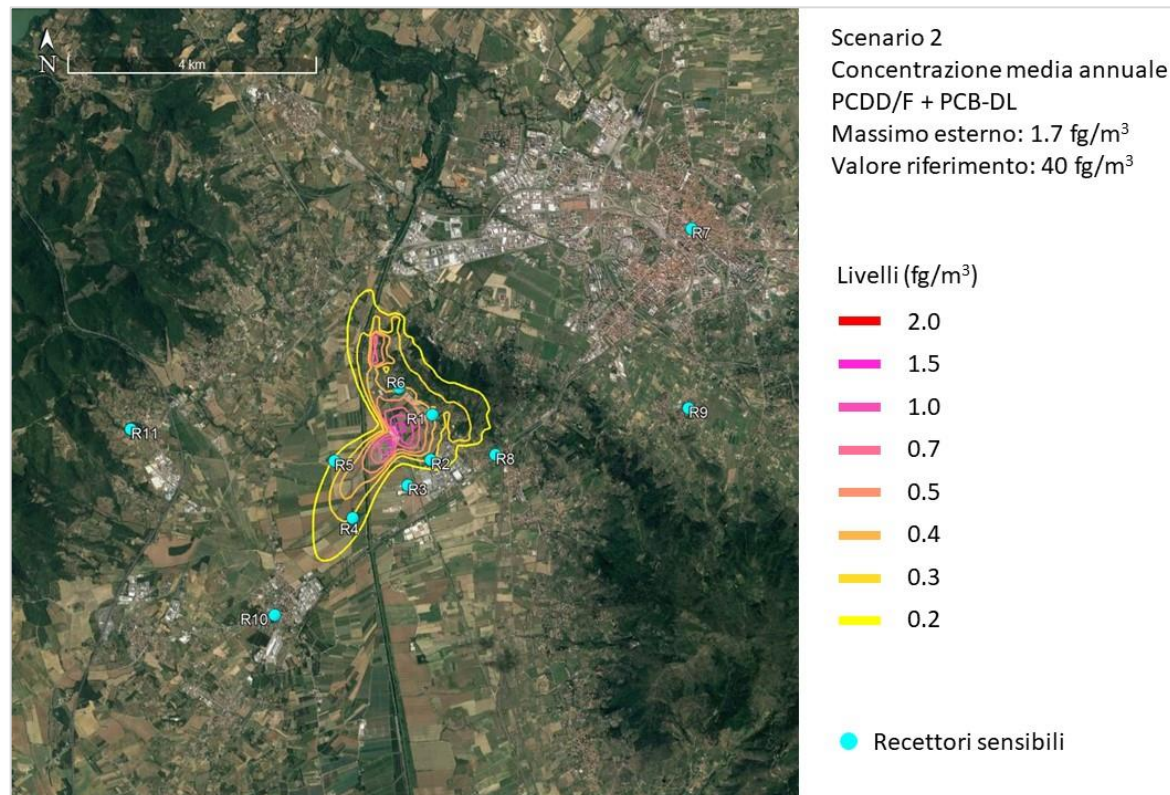


**Figura 29.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di NO<sub>2</sub>. Scenario 1.



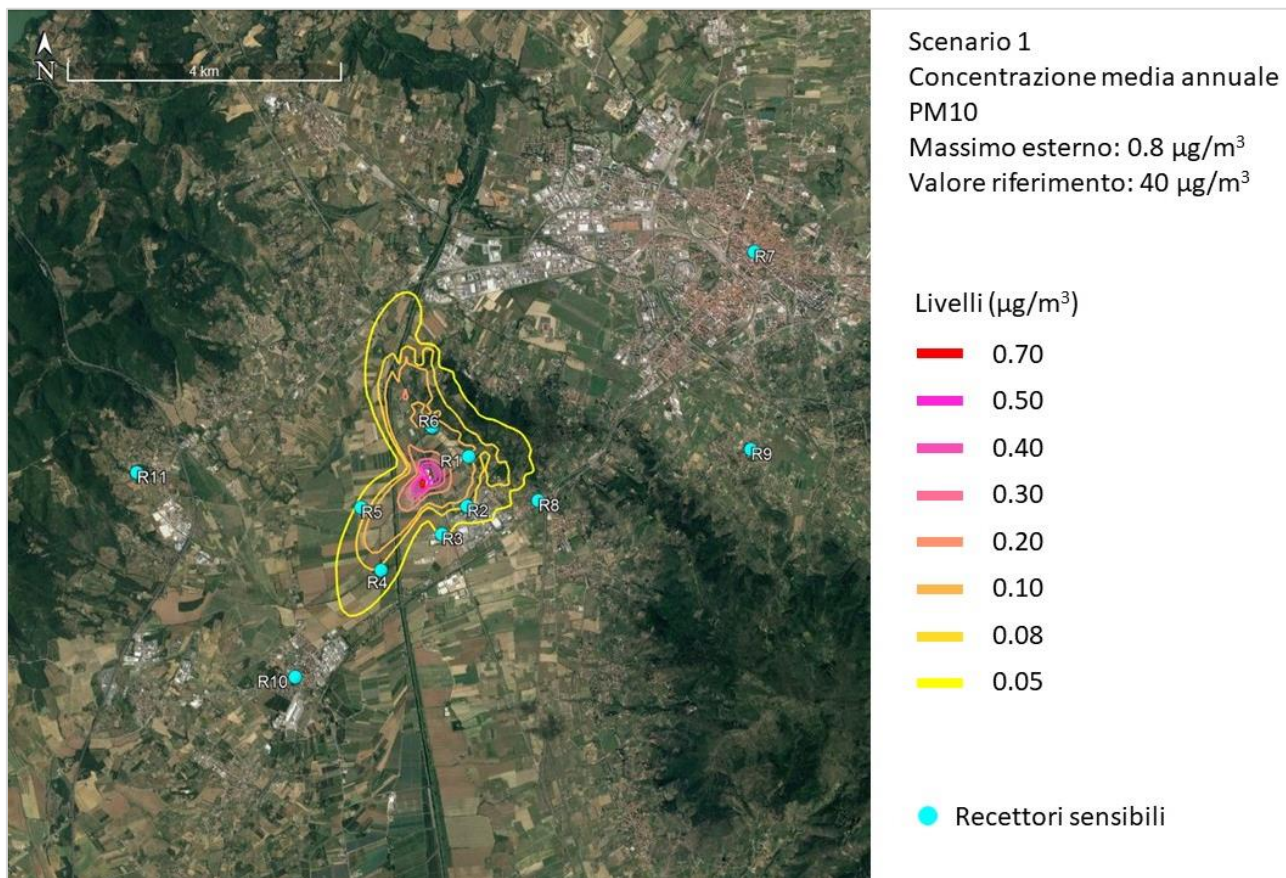


**Figura 30.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di Pb. Scenario 1.

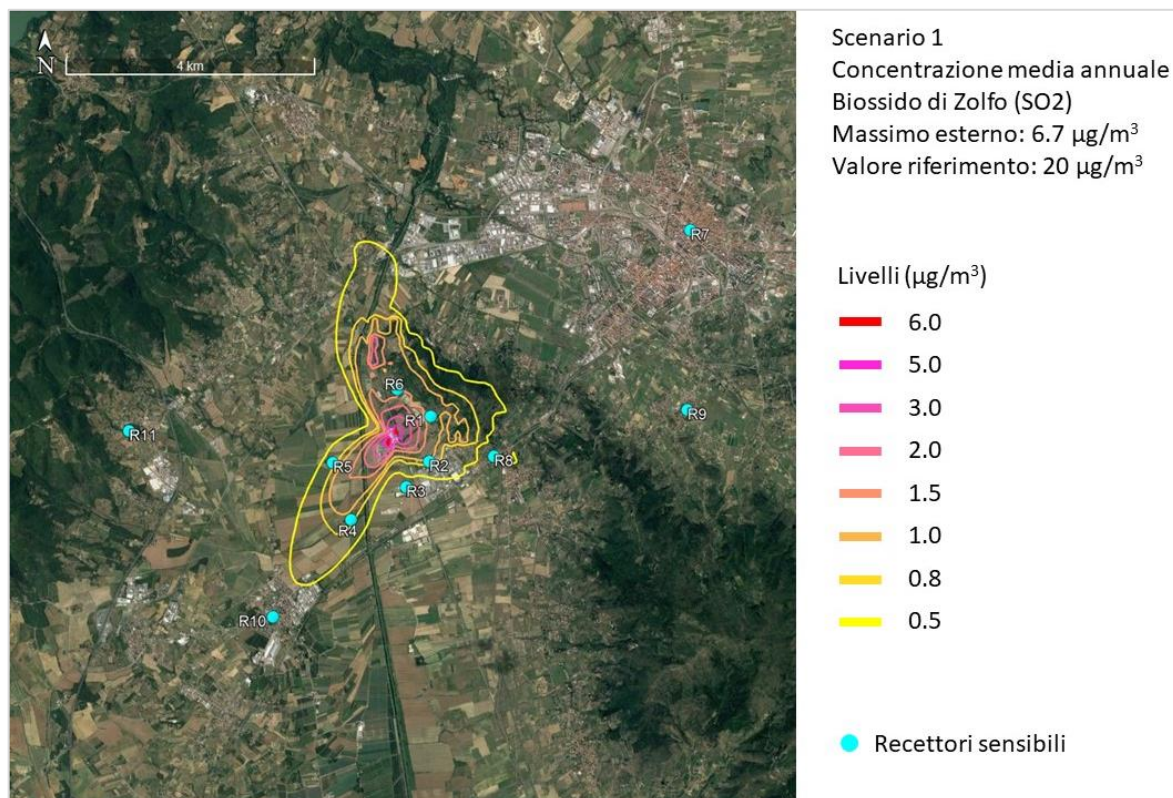


**Figura 31.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di PCDD/PCDF. Scenario 1.



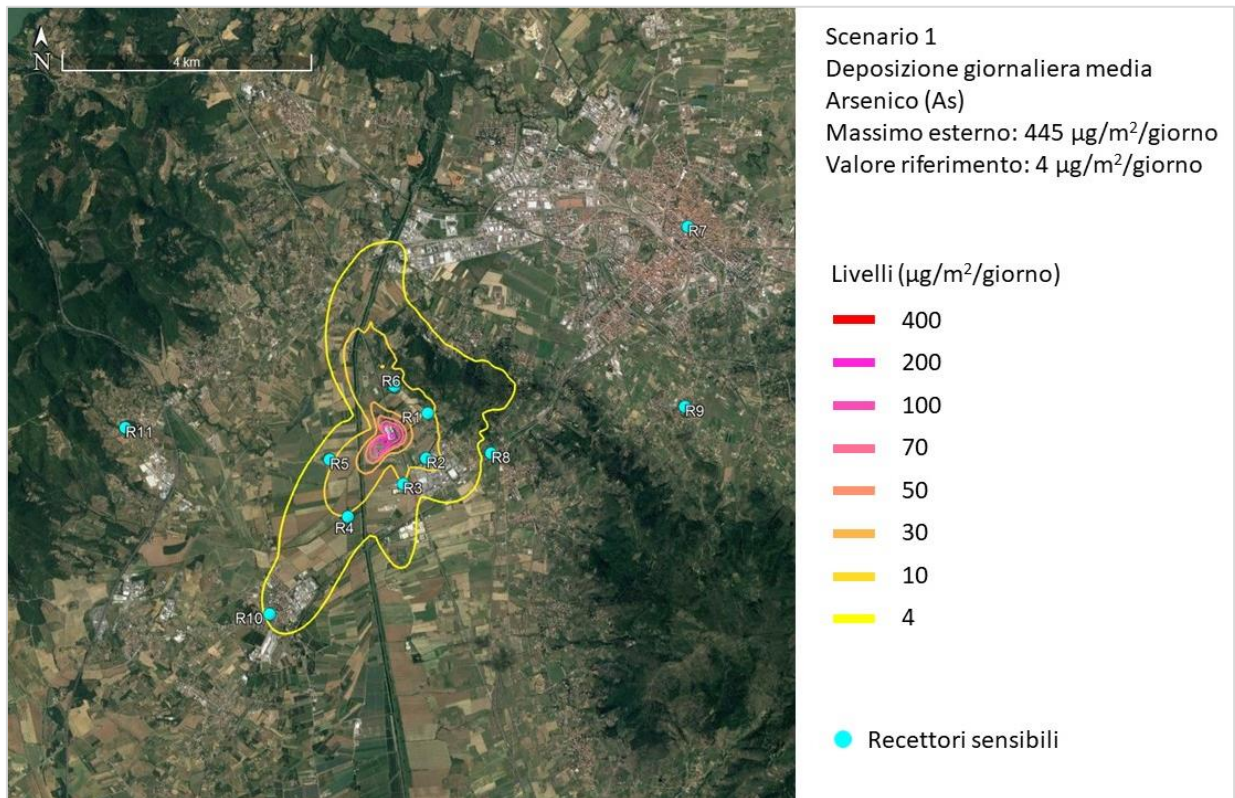


**Figura 32.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di PM10. Scenario 1.

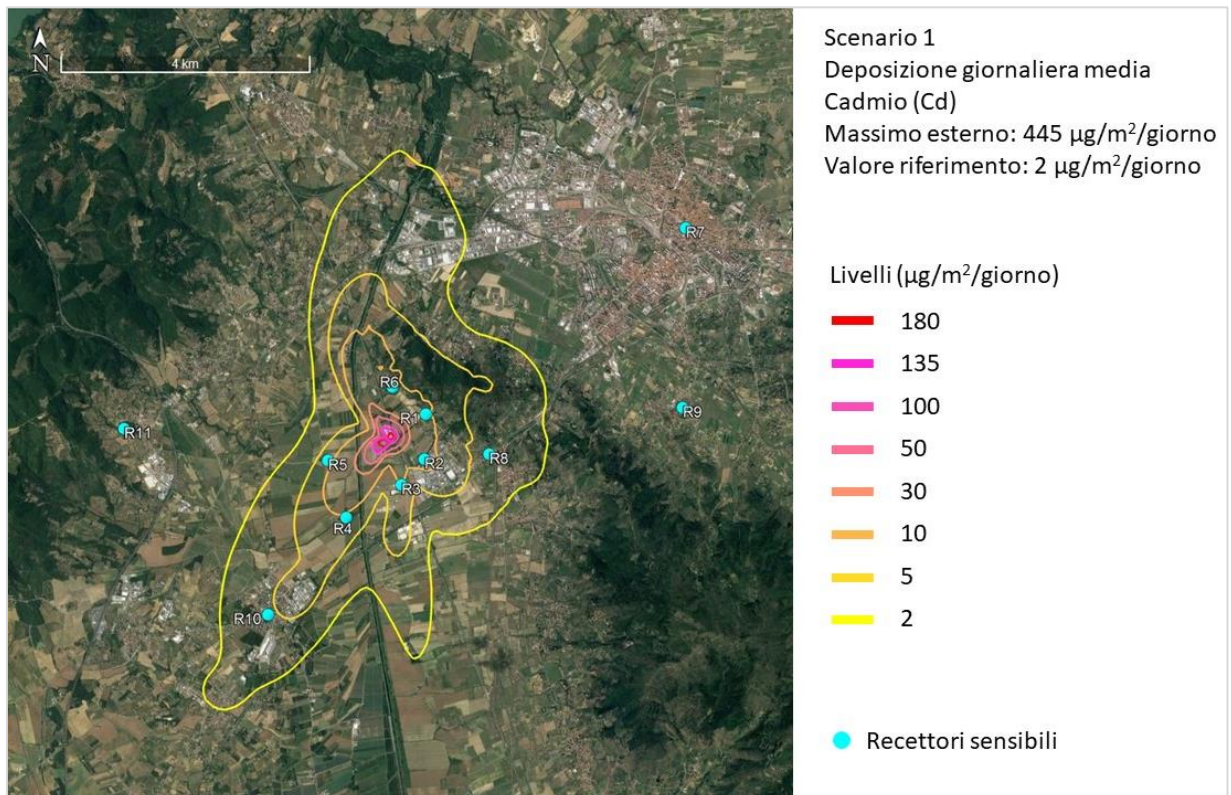


**Figura 33.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di SO2. Scenario 1.



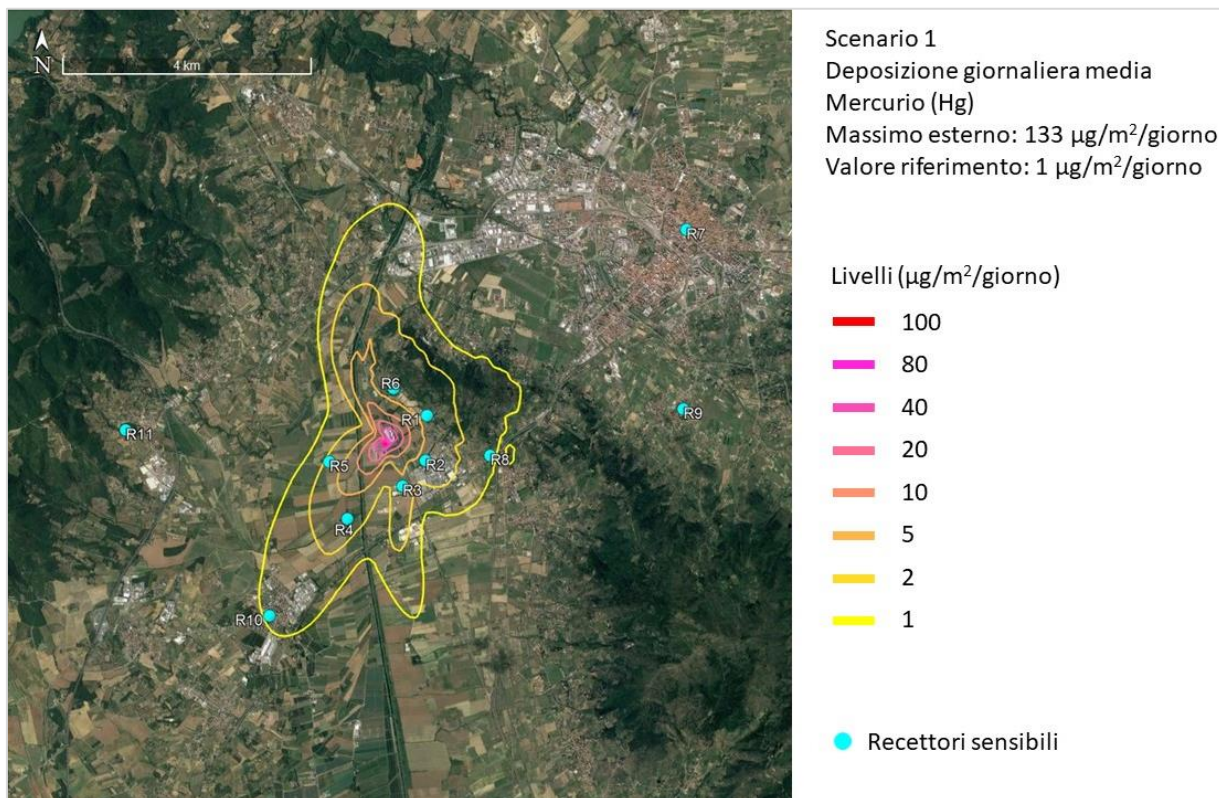


**Figura 34.** Isolivelli delle deposizioni medie giornaliere di As. Scenario 1.

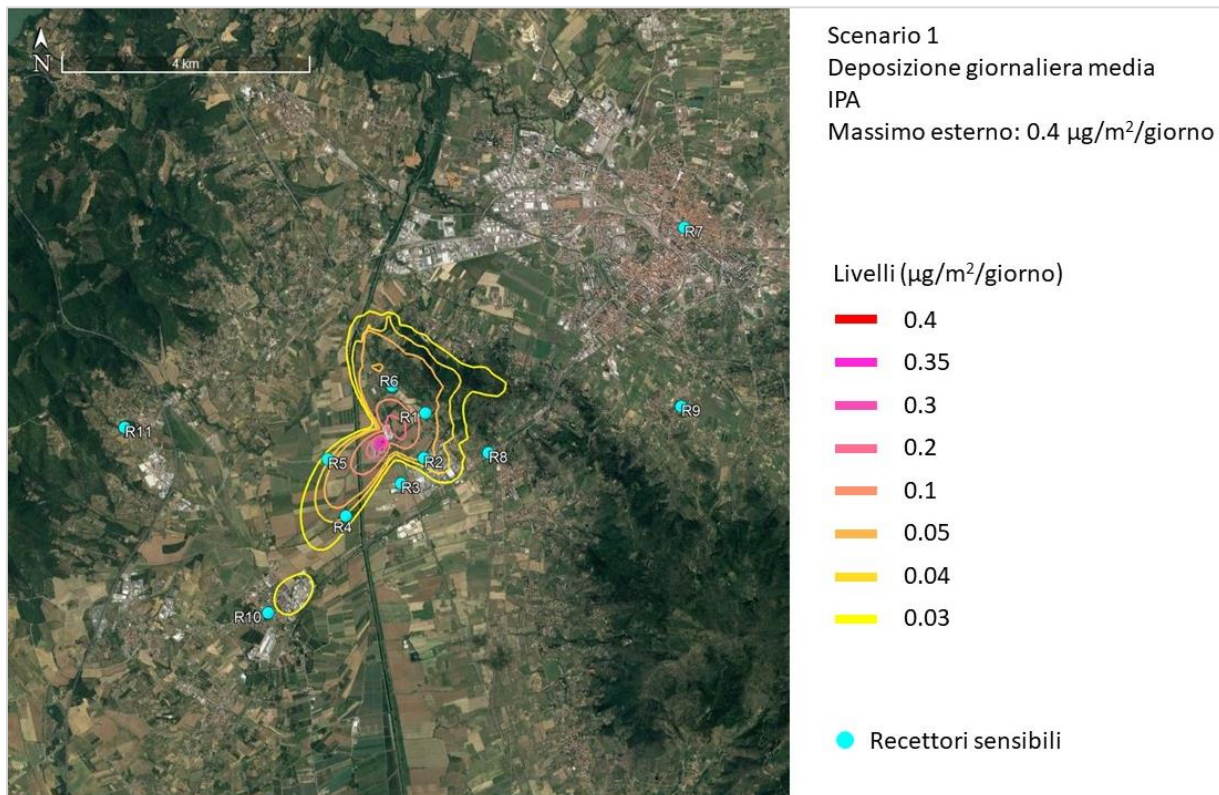


**Figura 35.** Isolivelli delle deposizioni medie giornaliere di Cd. Scenario 1.



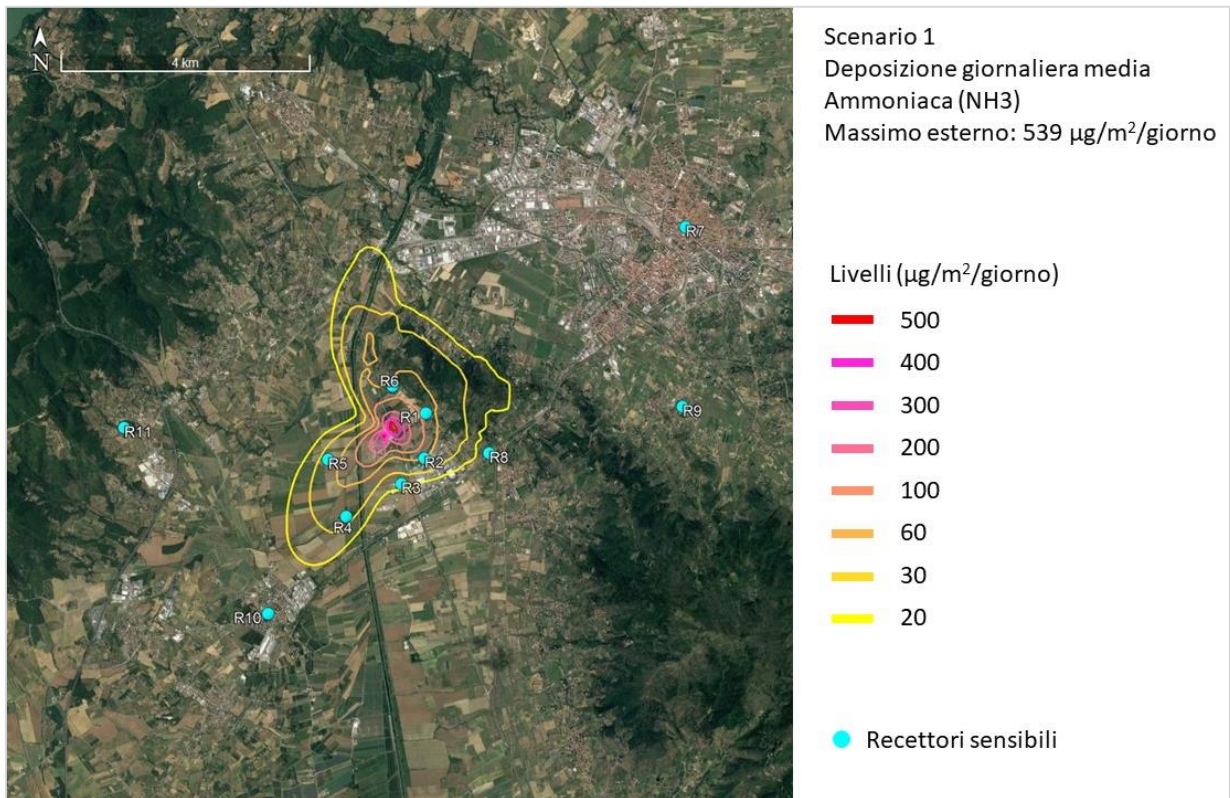


**Figura 36.** Isolivelli delle deposizioni medie giornaliere di Hg. Scenario 1.

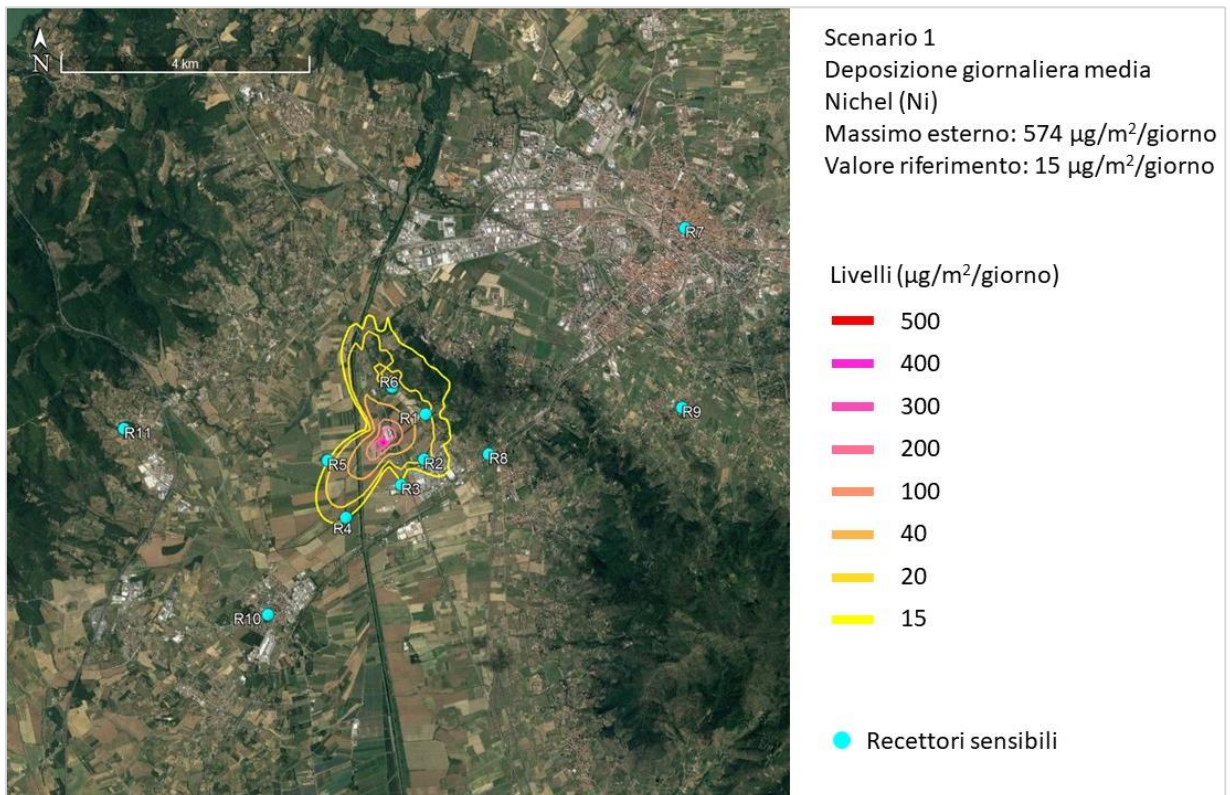


**Figura 37.** Isolivelli delle deposizioni medie giornaliere di IPA. Scenario 1.



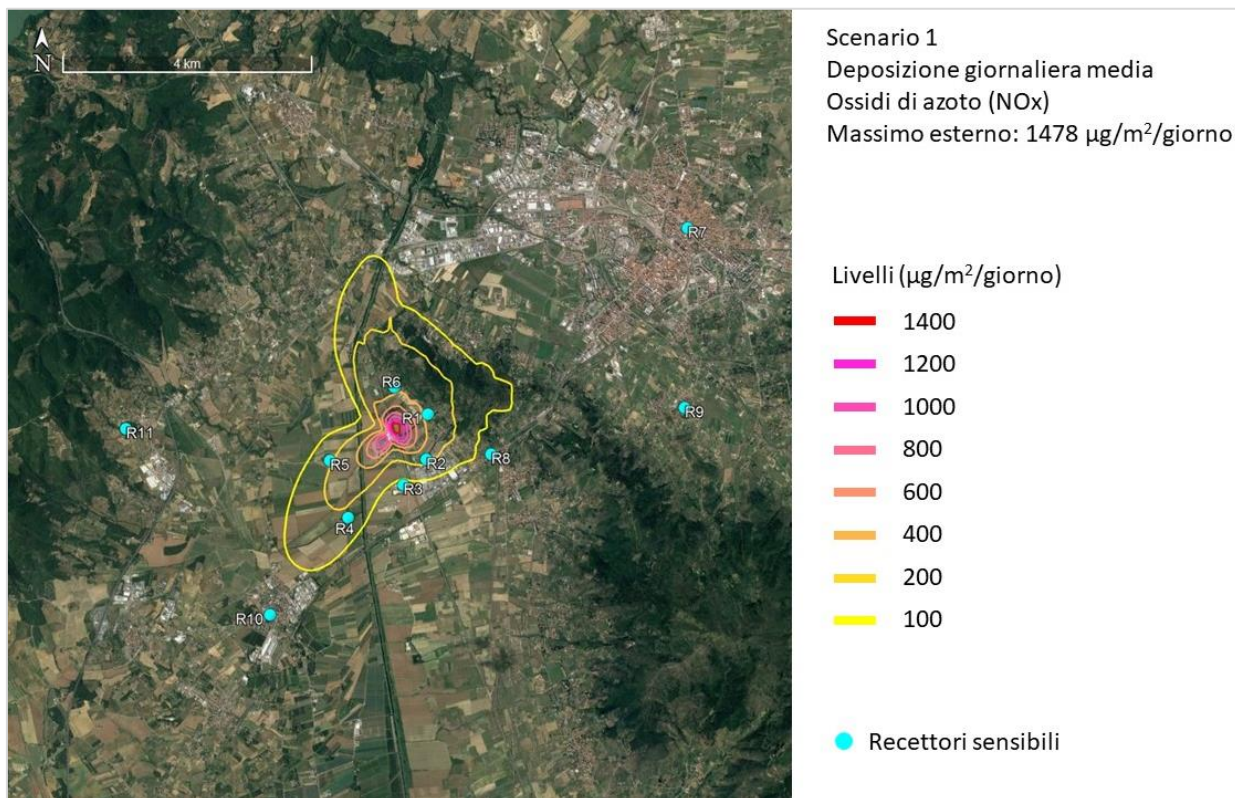


**Figura 38.** Isolivelli delle deposizioni medie giornaliere di NH<sub>3</sub>. Scenario 1.

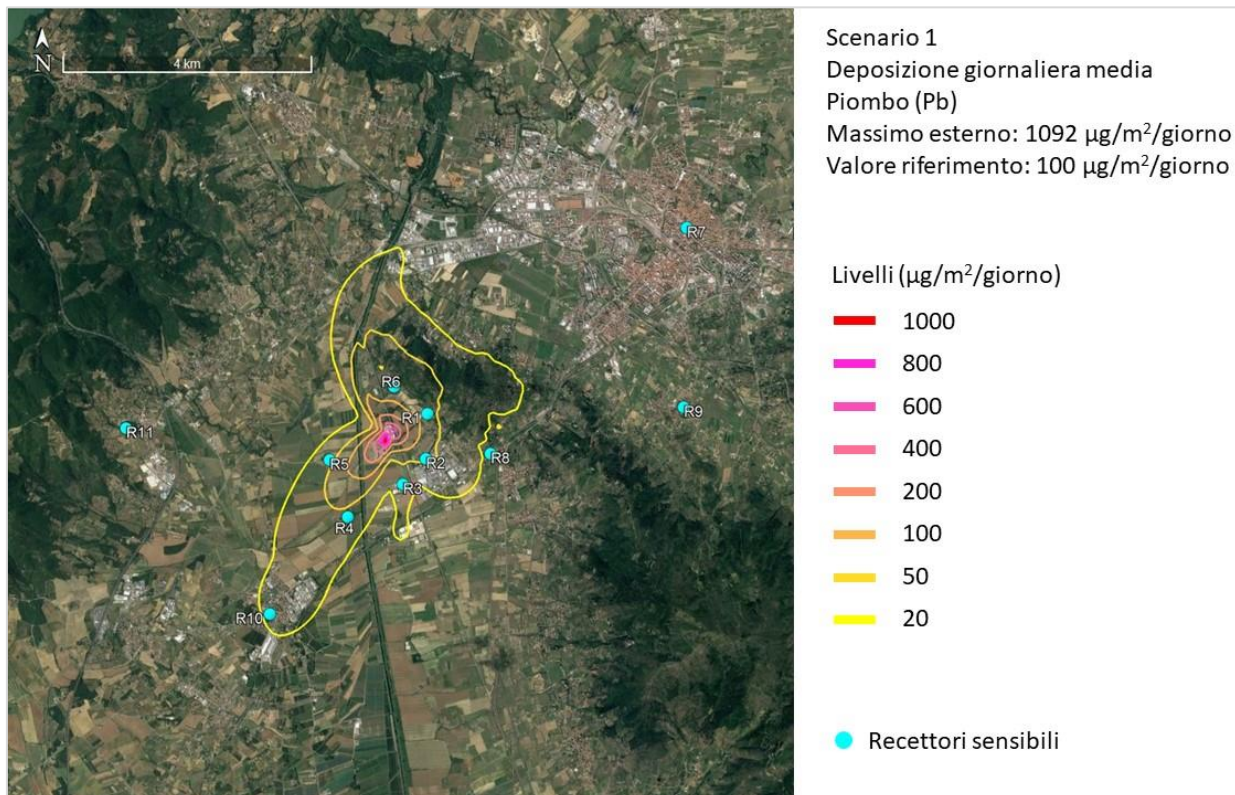


**Figura 39.** Isolivelli delle deposizioni medie giornaliere di Ni. Scenario 1.



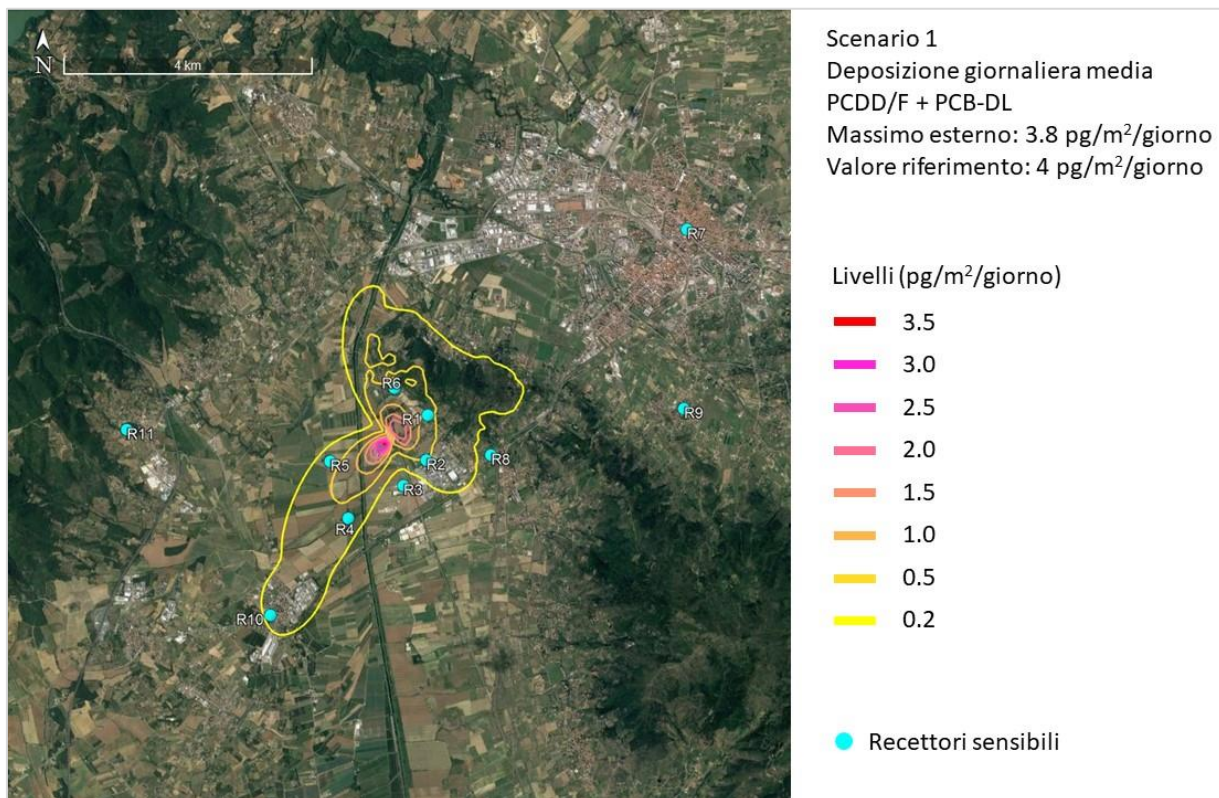


**Figura 40.** Isolivelli delle deposizioni medie giornaliere di NOx. Scenario 1.

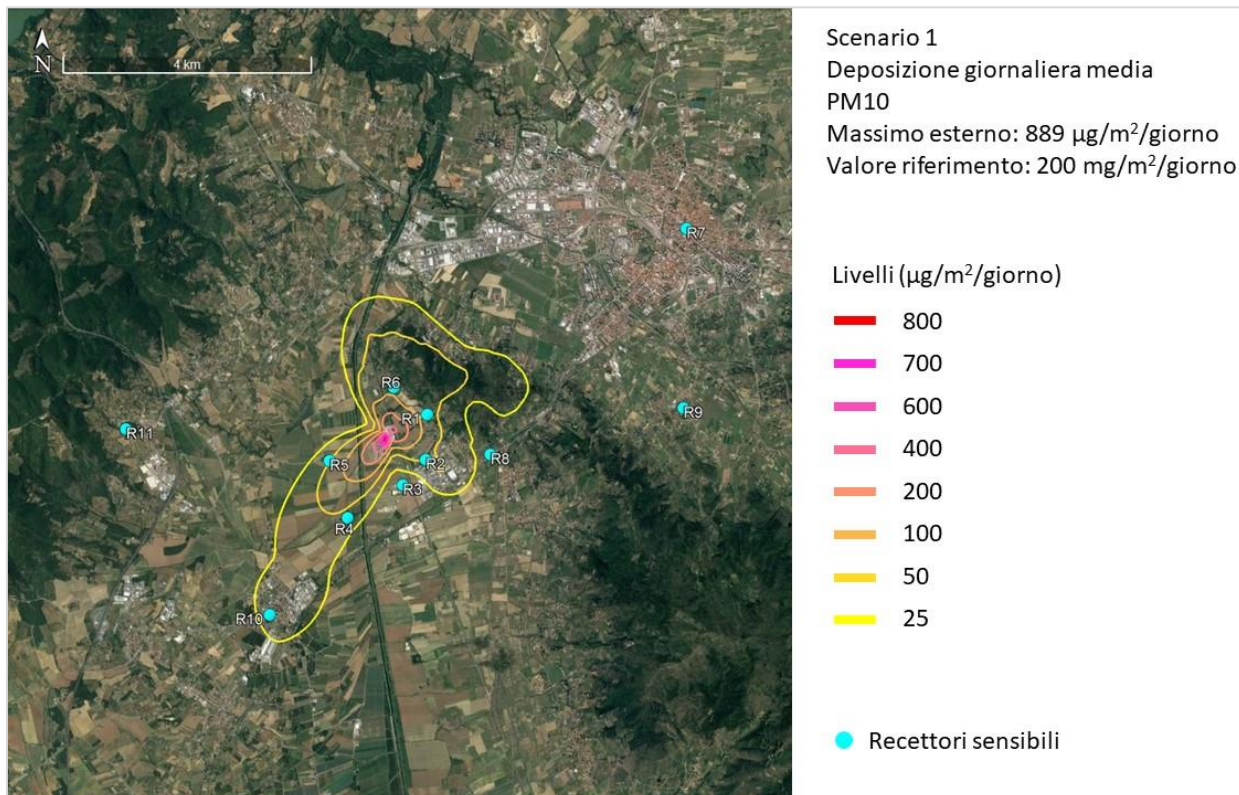


**Figura 41.** Isolivelli delle deposizioni medie giornaliere di Pb. Scenario 1.

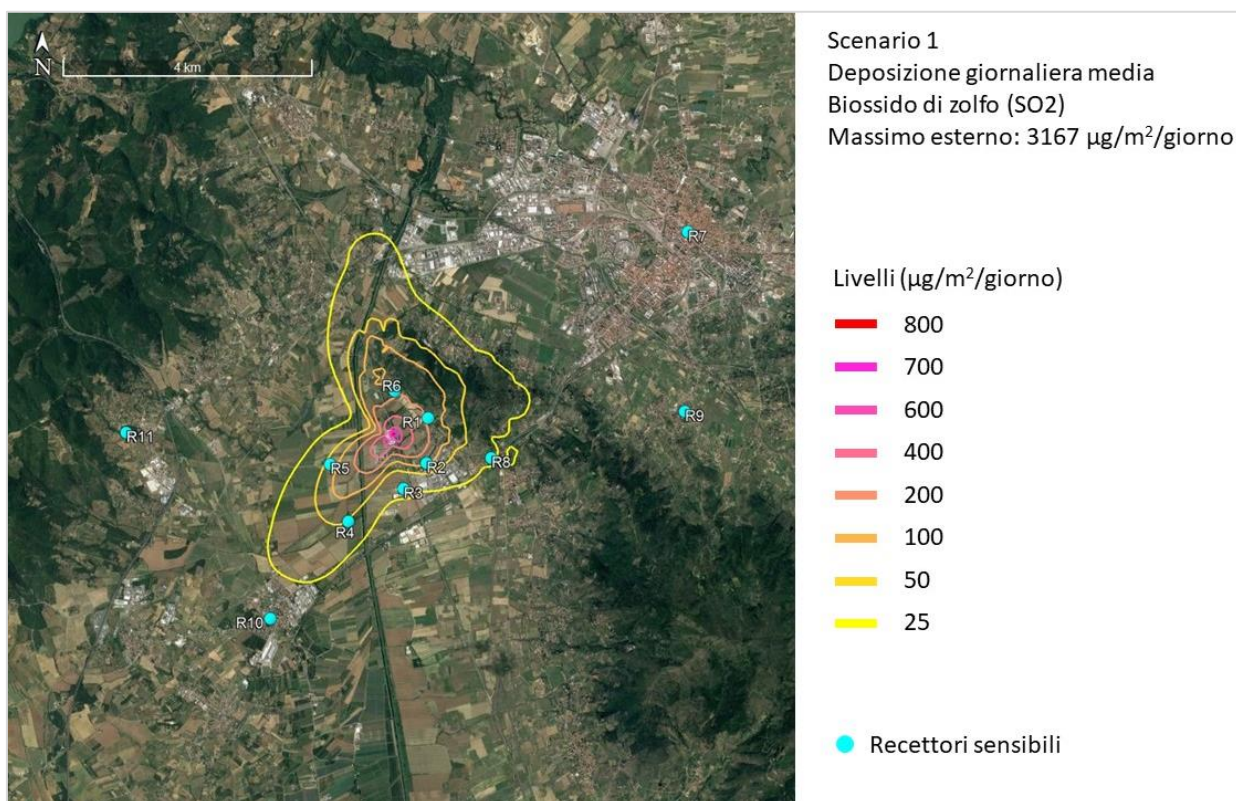




**Figura 42.** Isolivelli delle deposizioni medie giornaliere di PCDD/PCDF. Scenario 1.



**Figura 43.** Isolivelli delle deposizioni medie giornaliere di PM10. Scenario 1.



**Figura 44.** Isolivelli delle deposizioni medie giornaliere di SO<sub>2</sub>. Scenario 1.

### 6.3.2 Scenario 2

Lo scenario emissivo 2 ha lo scopo di determinare le sole medie long term (medie annuali) per le diossine (PCDD/F+PCB-DL) utilizzando in input il valore limite (inteso come somma) di 0,08 ng WHO-TEQ/Nm<sup>3</sup> in linea con il valore del range BAT-AEL di settore.

Il valore massimo della concentrazione media annuale sui recettori cartesiani all'esterno dell'impianto vale 1.66 fg/m<sup>3</sup> nel punto di coordinate E=728200, N=4812700 (UTM 32T). Tale valore è minore del riferimento di 40 fg/m<sup>3</sup> indicato da Di Domenico (1988). Le concentrazioni medie annuali di PCDD/F + PCB-DL ai recettori discreti sono riportate in **Tabella 31**. La mappa delle concentrazioni medie annuali è riportata in **Figura 45**.

Il valore massimo di deposizione media giornaliera di diossine ai recettori cartesiani esternamente all'impianto vale 3.0 pg/m<sup>2</sup>/giorno, e risulta quindi inferiore rispetto ai valori di riferimento indicati in **Tabella 5**. La mappa dei flussi medi giornalieri di deposizione è riportata in **Figura 46**.

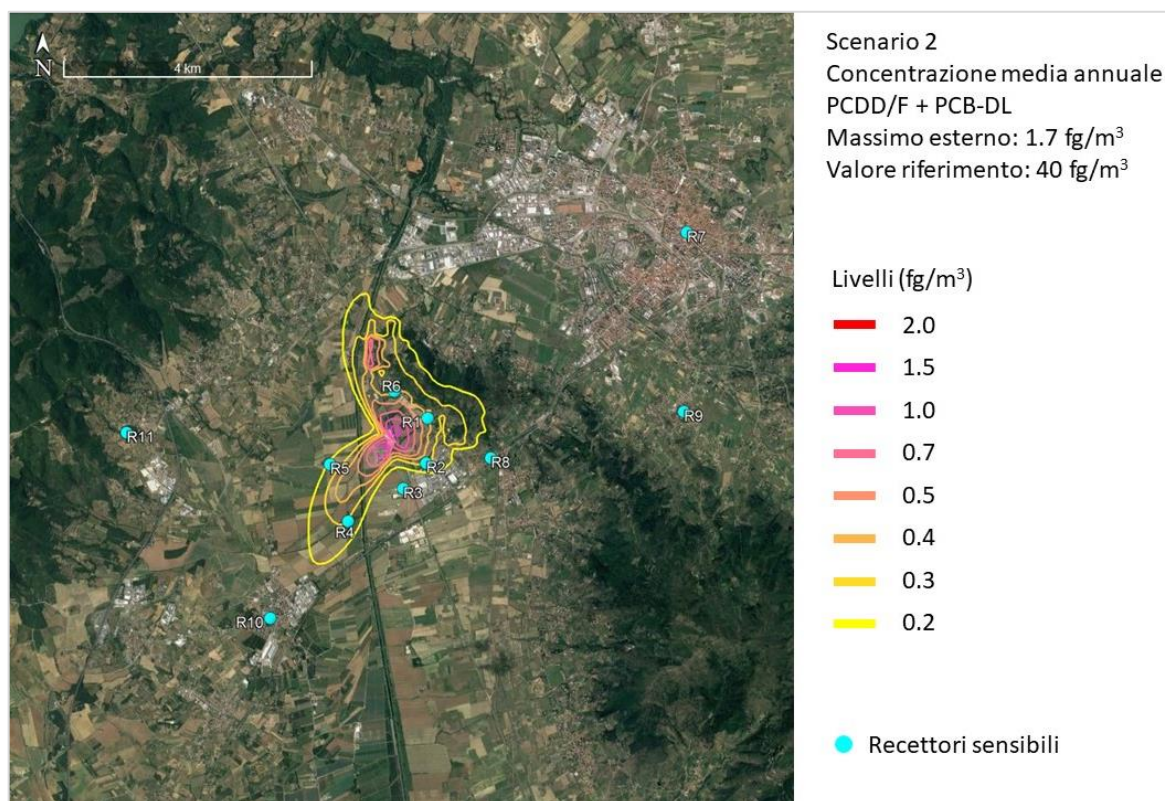


**Tabella 31.** Medie annuali ( $\text{fg}/\text{m}^3$ ) ai recettori discreti. Scenario 2.

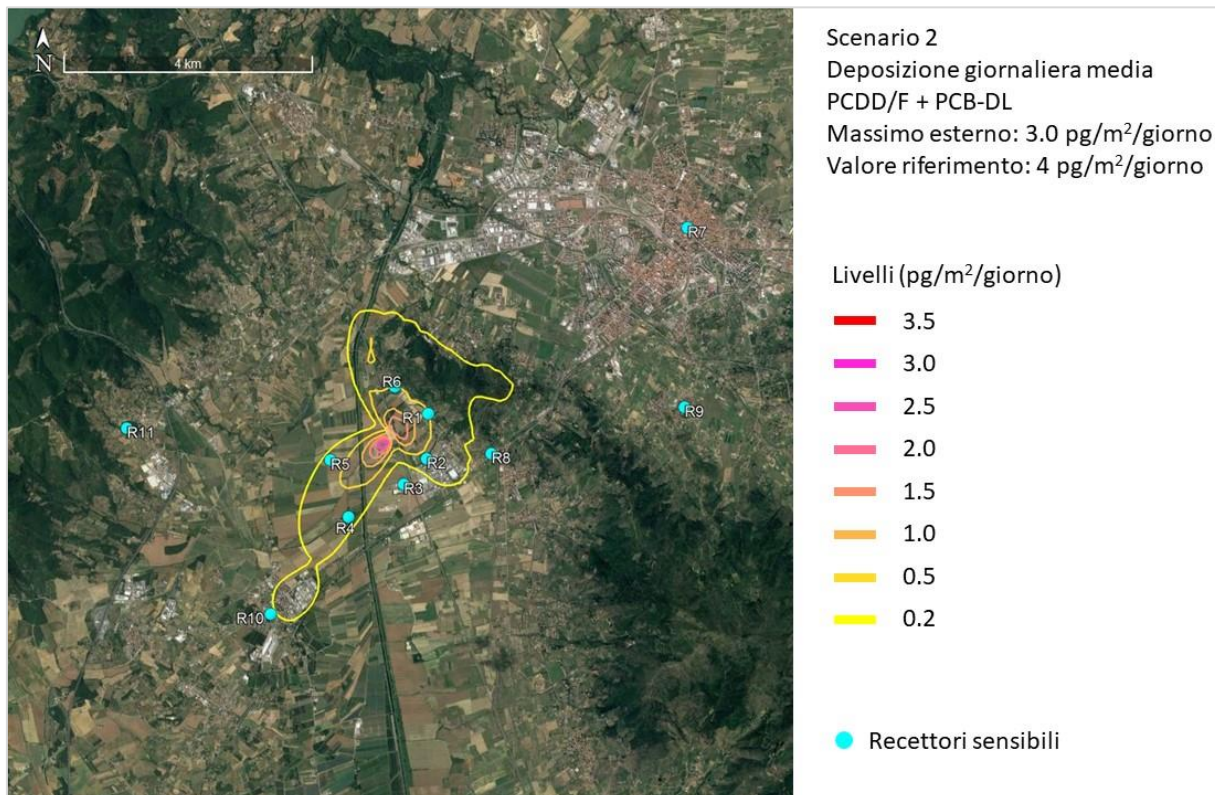
Recettore	PCDDF
R1	0.36
R2	0.30
R3	0.10
R4	0.30
R5	0.22
R6	0.34
R7	0.02
R8	0.11
R9	0.02
R10	0.12
R11	0.02

**Tabella 32.** Deposizione giornaliera media ( $\text{fg}/\text{m}^2/\text{giorno}$ ) ai recettori discreti. Scenario 2.

Recettore	PCDDF
R1	0.47
R2	0.38
R3	0.10
R4	0.29
R5	0.27
R6	0.46
R7	0.03
R8	0.12
R9	0.03
R10	0.18
R11	0.01



**Figura 45.** Isolivelli delle concentrazioni medie annuali di PCDD/PCDF. Scenario 2.



**Figura 46.** Isolivelli delle deposizioni medie giornaliere di PCDD/PCDF. Scenario 2.

### 6.3.3 Scenario 3

Lo scenario emissivo 3 ha lo scopo di determinare le sole medie short term utilizzando in input i VLE dello scenario emissivo 1 (per cui per i parametri aventi sia VLE medio giornaliero sia medio semiorario è stato considerato il primo). Questo scenario viene effettuato per i soli inquinanti per cui è stabilito un valore limite short term (NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>).

I valori massimi determinati per le statistiche di interesse sui recettori cartesiani all'esterno dell'impianto sono riepilogati in **Tabella 33**. Tutti i valori limite stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 vengono rispettati. I valori massimi delle statistiche di interesse ai recettori discreti sono invece riportati in **Tabella 33**.

Le mappe di concentrazione relative alle statistiche di interesse per gli inquinanti in esame sono riportate da **Figura 47** a **Figura 51**.

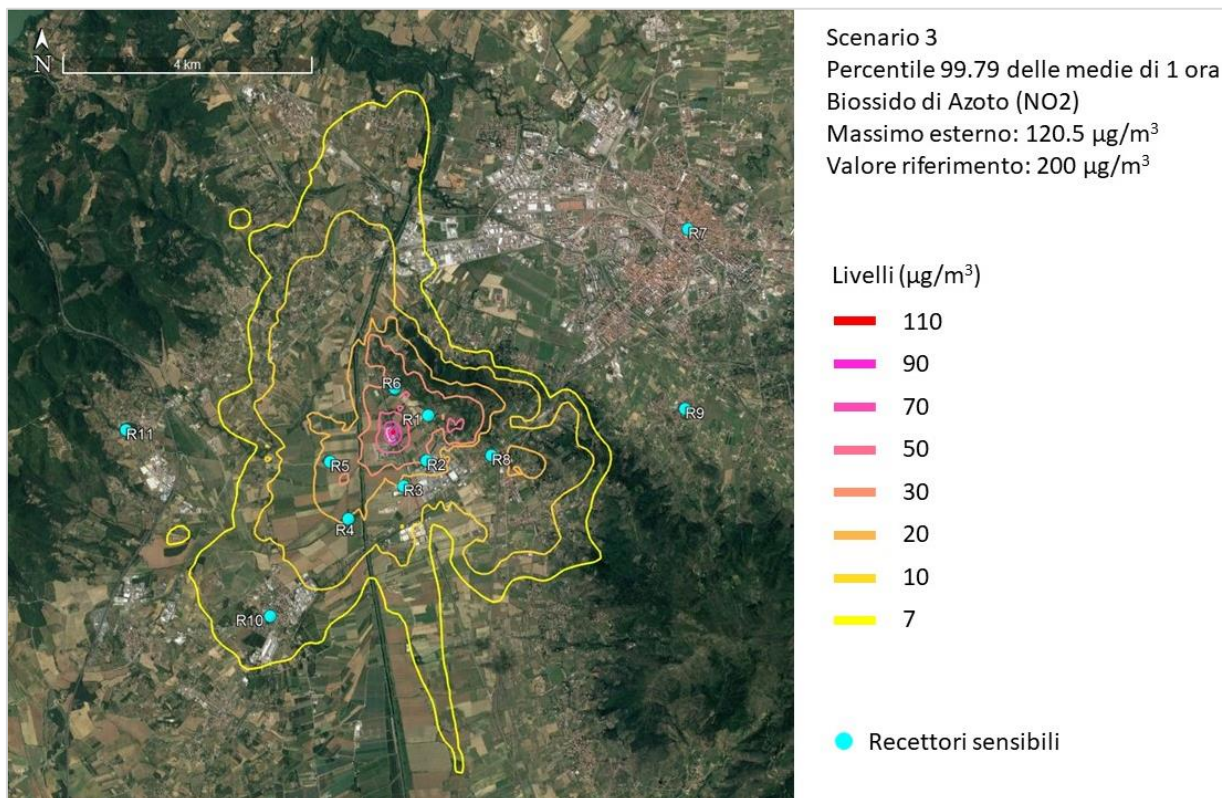
**Tabella 33.** Valori massimi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) delle statistiche di interesse all'esterno dell'impianto. Scenario 3.

Inquinante	Easting (m)	Northing (m)	Valore	SQA
CO Max mobile 8h	728300	4812900	14.5	10000
NO <sub>2</sub> Percentile 99.79 medie 1h	728300	4812900	120.5	200
PM <sub>10</sub> Percentile 90.41 medie 24h	728200	4812800	2.9	50
SO <sub>2</sub> Percentile 99.73 medie 1h	728300	4812900	143.3	350
SO <sub>2</sub> Percentile 99.18 medie 24h	728200	4812800	40.8	125

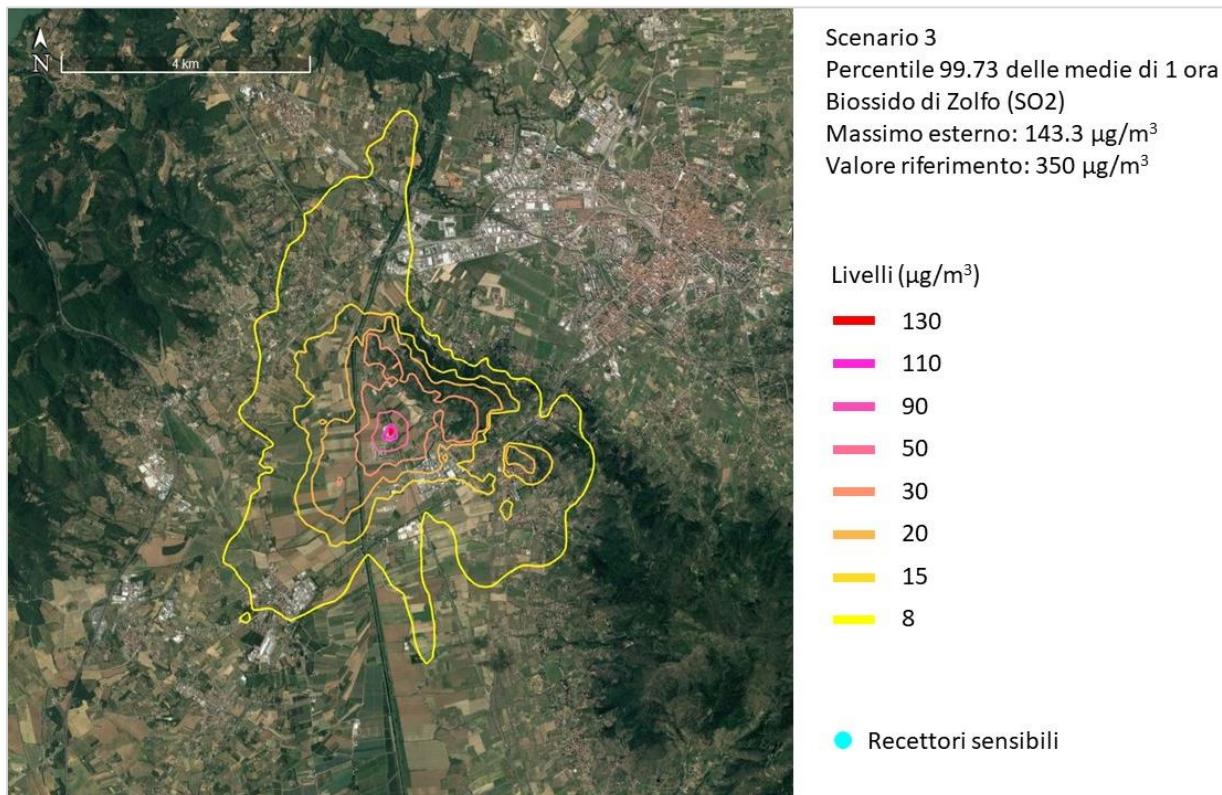
**Tabella 34.** Valori massimi delle statistiche di interesse ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ai recettori discreti. Scenario 3.

Recettore	CO Max8h	NO <sub>2</sub> Pct1h	PM <sub>10</sub> Pct24h	SO <sub>2</sub> Pct1h	SO <sub>2</sub> Pct24h
R1	2.8	33.0	0.31	31.2	8.0
R2	2.5	31.6	0.32	28.4	7.1
R3	1.6	15.6	0.20	15.6	3.3
R4	2.2	20.8	0.24	21.0	6.4
R5	2.8	26.9	0.20	25.4	6.1
R6	2.0	31.8	0.29	30.7	6.7
R7	0.2	2.8	0.02	2.8	0.6
R8	1.0	12.0	0.09	12.2	2.5
R9	0.3	2.5	0.02	2.0	0.6
R10	1.0	7.6	0.09	7.6	2.5
R11	0.8	3.8	0.01	3.8	1.0



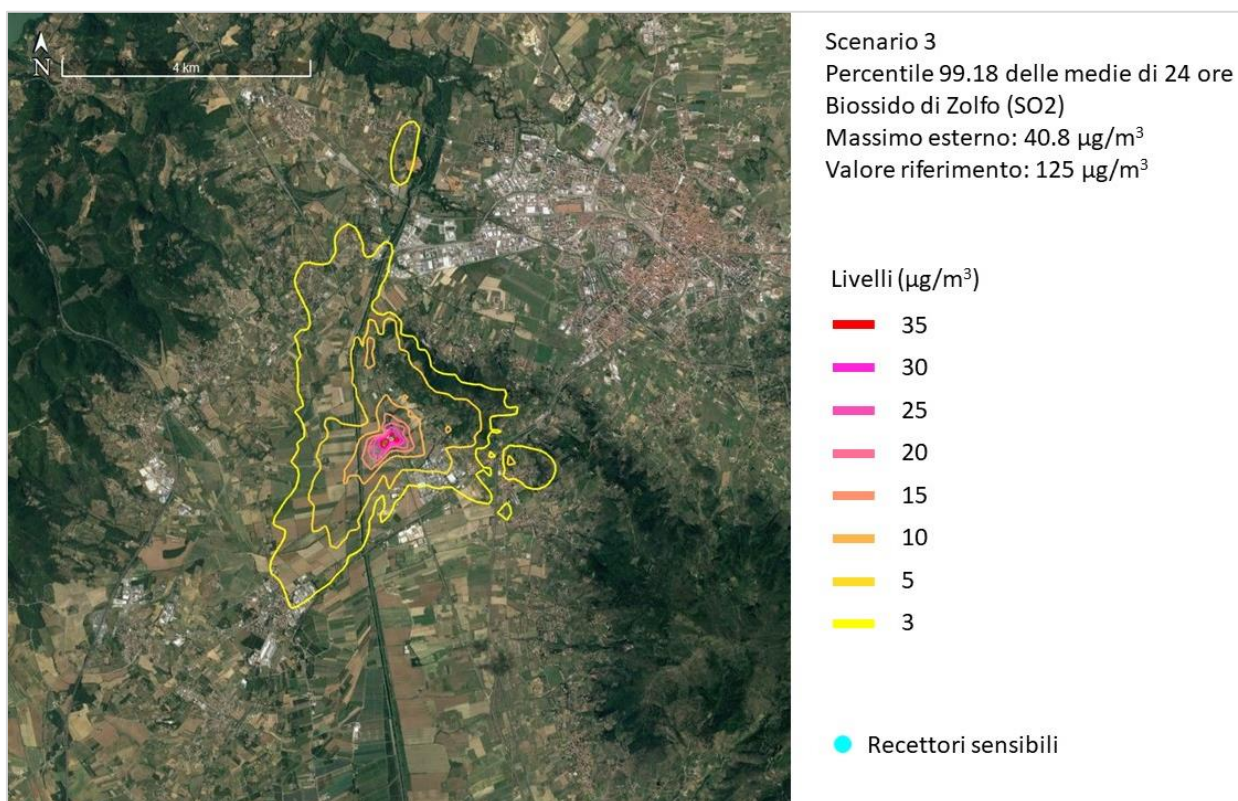


**Figura 47.** Isolivelli del percentile 99.79 delle concentrazioni medie orarie di NO<sub>2</sub>. Scenario 3.

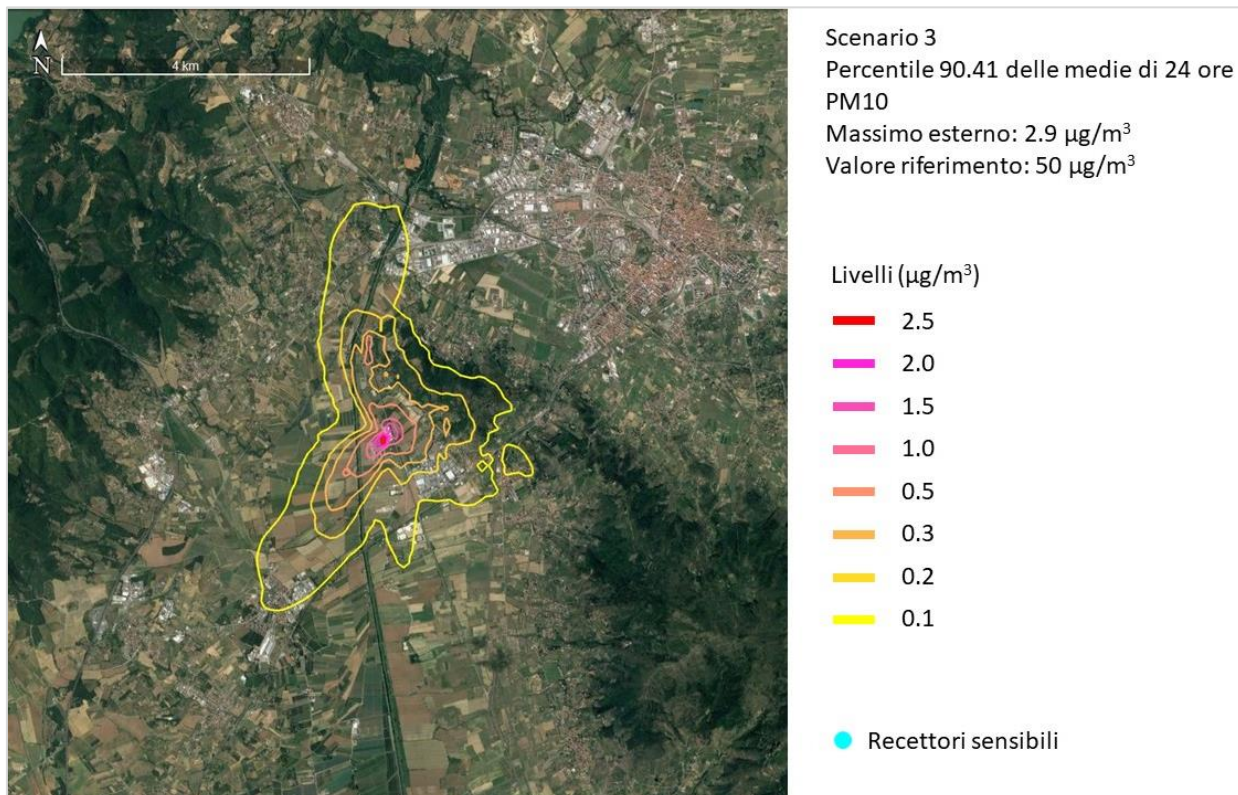


**Figura 48.** Isolivelli del percentile 99.73 delle concentrazioni medie orarie di SO<sub>2</sub>. Scenario 3.



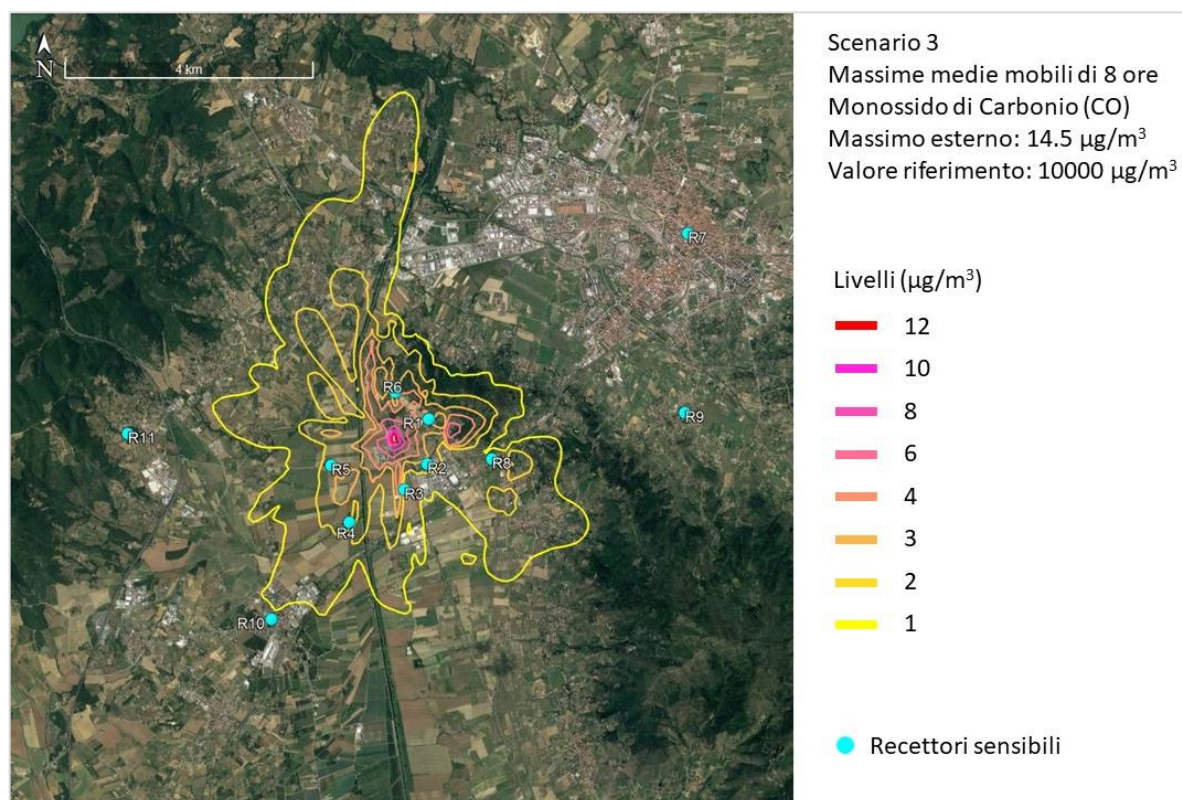


**Figura 49.** Isolivelli del percentile 99.18 delle concentrazioni medie giornaliere di SO<sub>2</sub>. Scenario 3.



**Figura 50.** Isolivelli del percentile 90.41 delle concentrazioni medie giornaliere di PM10. Scenario 3.





**Figura 51.** Isolivelli delle massime medie mobili di 8 ore di CO. Scenario 3.

#### 6.3.4 Scenario 4

Lo scenario emissivo 4 ha lo scopo di determinare le sole medie short term e si differenzia dallo scenario emissivo 3 in quanto per i parametri aventi sia VLE medio giornaliero sia medio semiorario considera quest'ultimo. Questo scenario viene effettuato per i soli inquinanti per cui è stabilito un valore limite short term (NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>) e trattasi di una simulazione estremamente cautelativa in quanto presumerebbe che nel momento in cui si verificherebbero le condizioni meteo-climatiche che porterebbero alle peggiori ricadute inquinanti queste avverrebbero in circostanze di emissioni al valore massimo semiorario.

I valori massimi determinati per le statistiche di interesse sui recettori cartesiani all'esterno dell'impianto sono riepilogati in **Tabella 35**. Tutti i valori limite stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 vengono rispettati. I valori massimi delle statistiche di interesse ai recettori discreti sono invece riportati in **Tabella 36**.

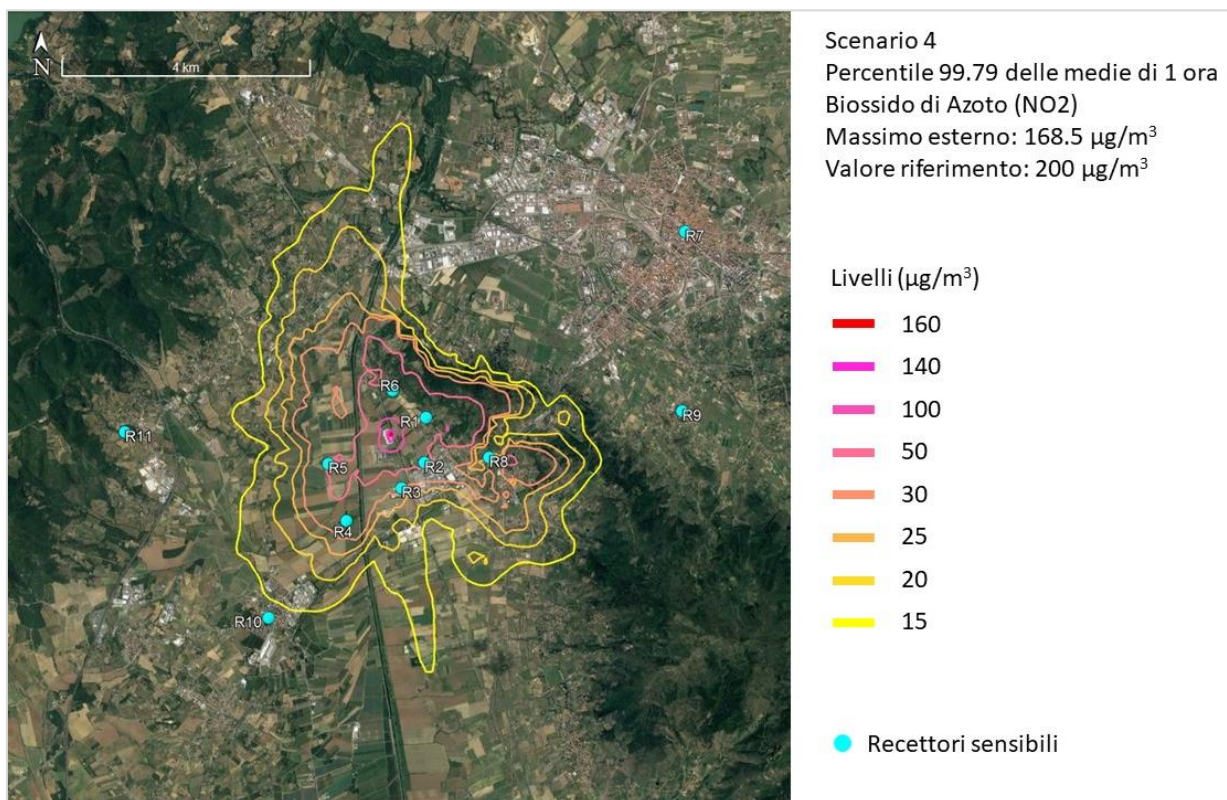
Le mappe di concentrazione relative alle statistiche di interesse per gli inquinanti in esame sono riportate da **Figura 52** a **Figura 56**.

**Tabella 35.** Valori massimi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) delle statistiche di interesse all'esterno dell'impianto. Scenario 4.

Inquinante	Easting (m)	Northing (m)	Valore	SQA
CO Max mobile 8h	728300	4812900	48.2	10000
NO2 Percentile 99.79 medie 1h	728300	4812900	168.5	200
PM10 Percentile 90.41 medie 24h	728200	4812700	3.8	50
SO2 Percentile 99.73 medie 1h	728300	4812900	190.6	350
SO2 Percentile 99.18 medie 24h	728400	4812800	55.7	125

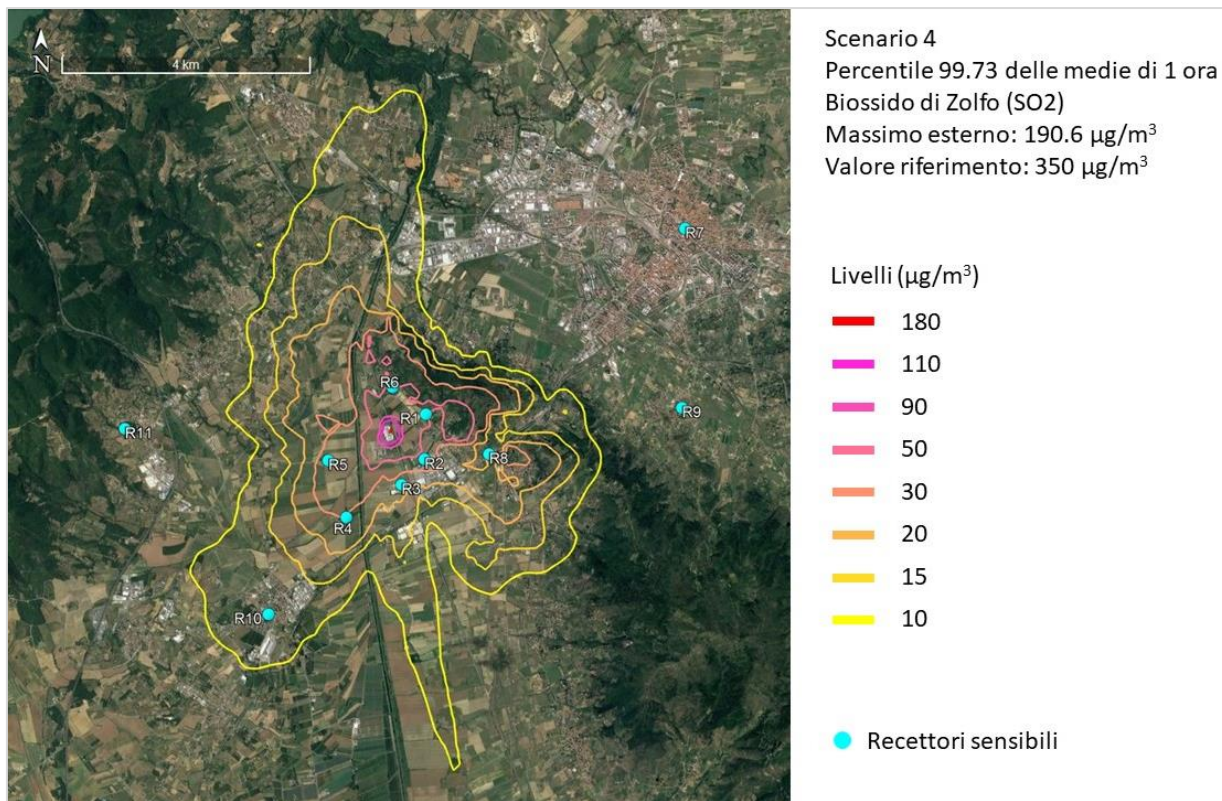
**Tabella 36.** Valori massimi delle statistiche di interesse ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ai recettori discreti. Scenario 4.

Recettore	CO Max8h	NO2 Pct1h	PM10 Pct24h	SO2 Pct1h	SO2 Pct24h
R1	9.3	59.3	0.51	44.6	11.6
R2	8.3	59.0	0.53	41.2	10.2
R3	5.2	30.0	0.28	22.9	4.6
R4	7.3	37.2	0.43	31.2	9.2
R5	9.5	52.4	0.34	39.1	8.9
R6	6.6	57.6	0.51	44.0	9.9
R7	0.8	4.6	0.04	3.6	0.9
R8	3.4	21.9	0.16	17.0	3.9
R9	0.9	4.3	0.03	3.1	0.8
R10	3.2	13.7	0.18	11.0	3.6
R11	2.8	6.5	0.02	4.9	1.4



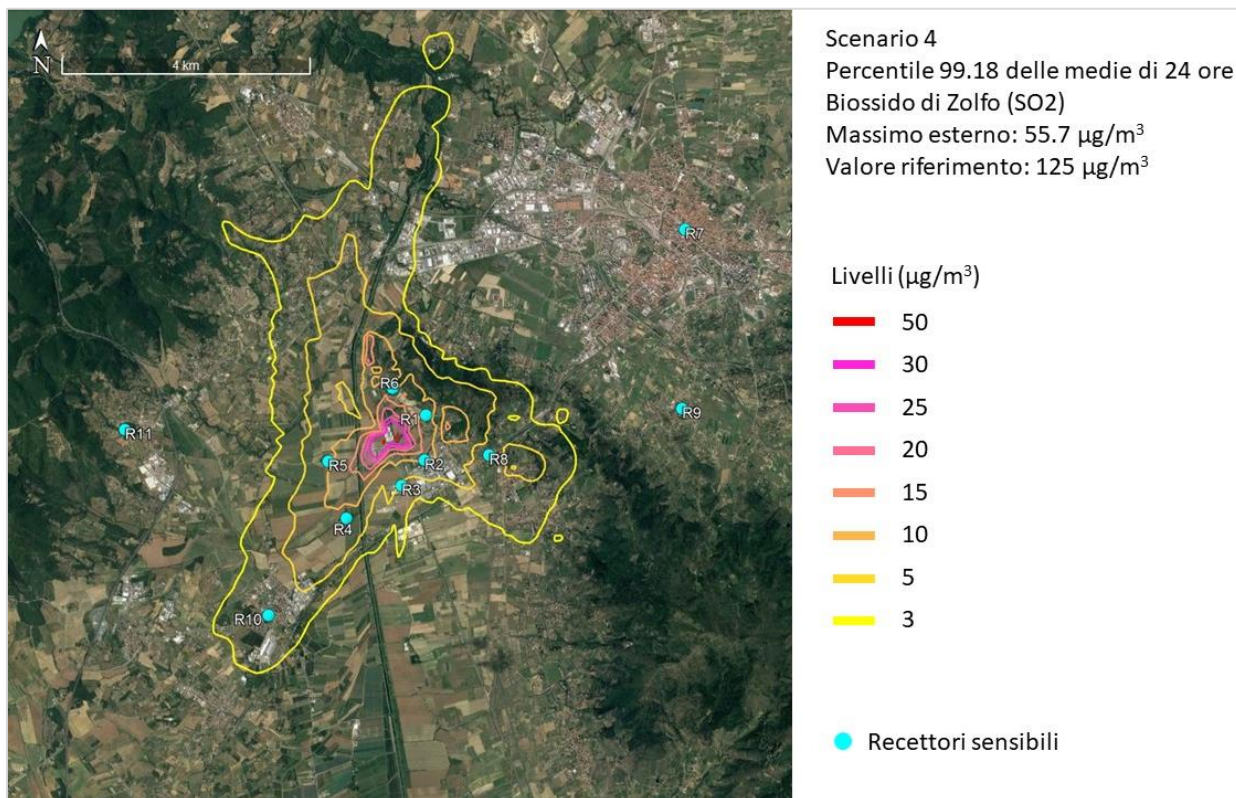


**Figura 52.** Isolivelli del percentile 99.79 delle concentrazioni medie orarie di NO<sub>2</sub>. Scenario 4.

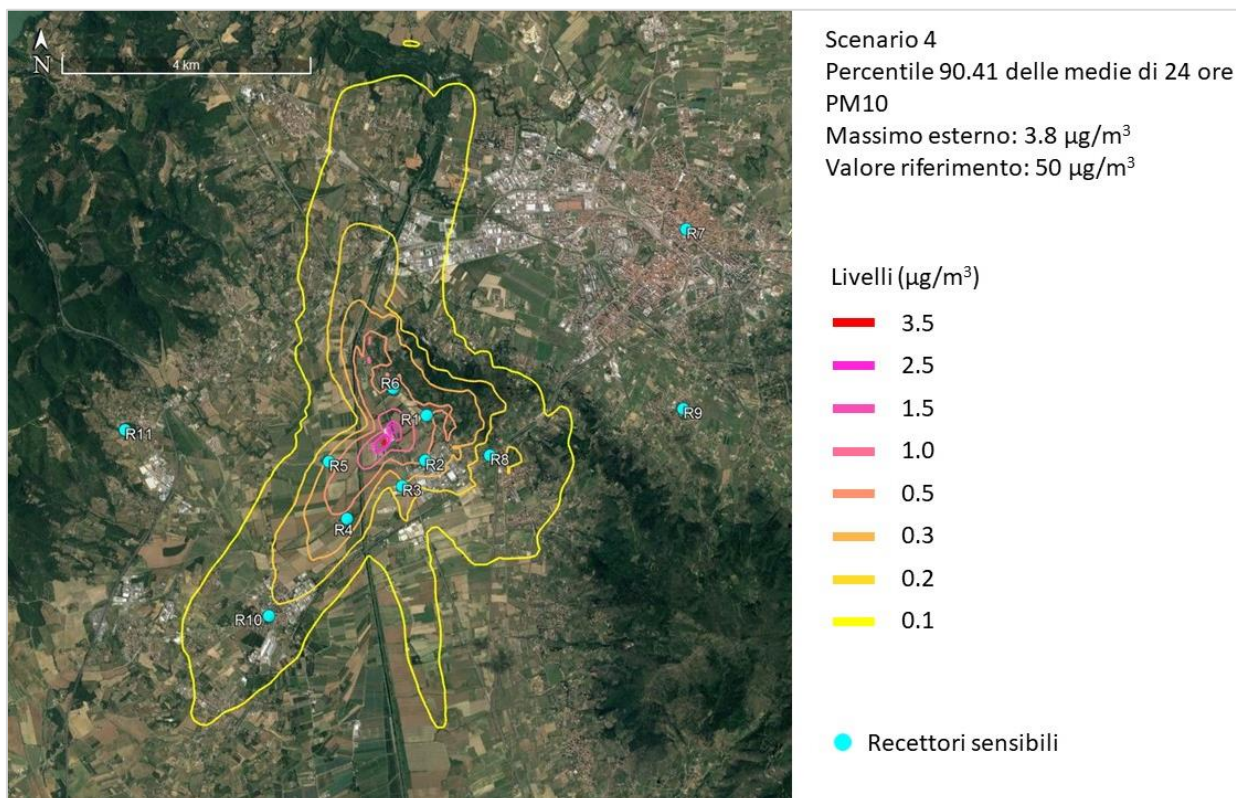


**Figura 53.** Isolivelli del percentile 99.73 delle concentrazioni medie orarie di SO<sub>2</sub>. Scenario 4.

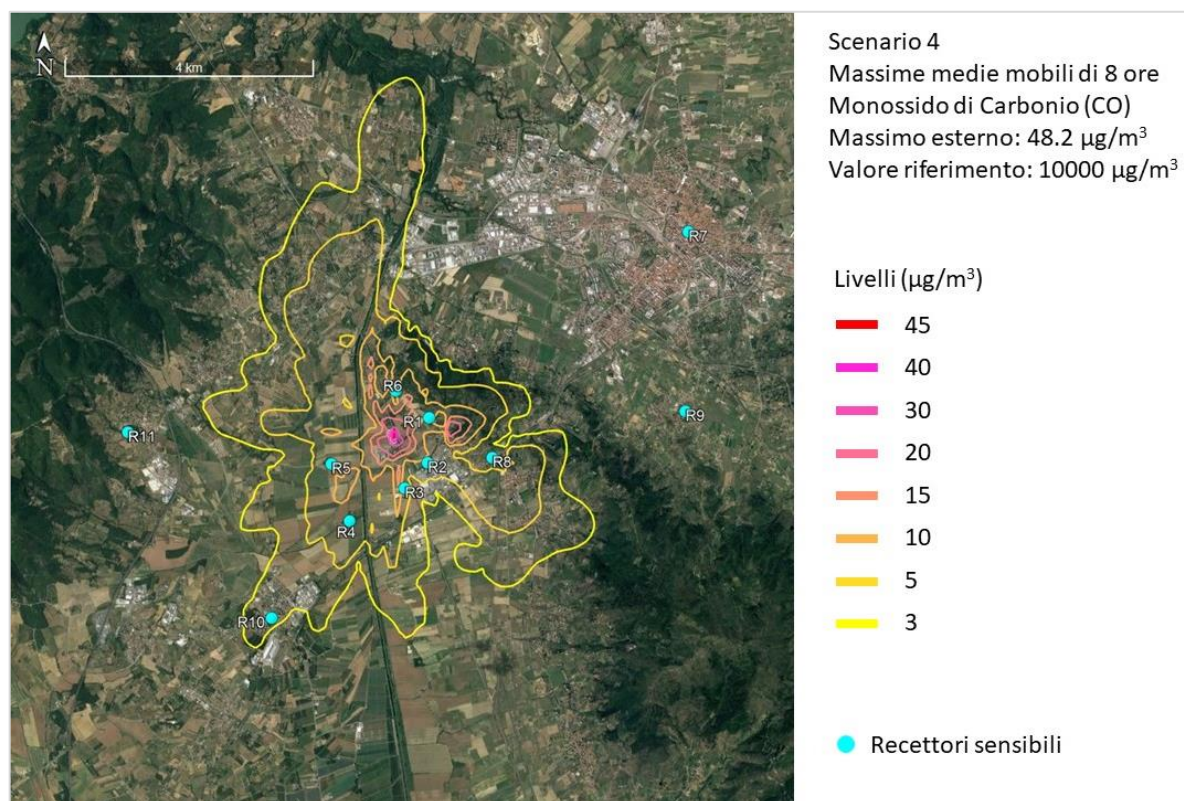




**Figura 54.** Isolivelli del percentile 99.18 delle concentrazioni medie giornaliere di SO<sub>2</sub>. Scenario 4.



**Figura 55.** Isolivelli del percentile 90.41 delle concentrazioni medie giornaliere di PM10. Scenario 4.



**Figura 56.** Isolivelli delle massime medie mobili di 8 ore di CO. Scenario 4.



## CONCLUSIONI

Questo studio descrive l'impatto delle emissioni in atmosfera dello stabilimento Safimet di San Zeno (AR) sull'ambiente circostante. Sono stati considerati quattro scenari emissivi:

- Scenario 1: ha lo scopo di determinare le sole medie long term (medie annuali) utilizzando in input i valori limite emissivi (VLE) in linea con il valore dei range BAT-AEL di settore (o per PCDD/F + PCB-DL molto prossimo).
- Scenario 2: ha lo scopo di determinare le sole medie long term (medie annuali) per le diossine (PCDD/F+PCB-DL) utilizzando in input il valore limite (inteso come somma) di 0,08 ng WHO-TEQ/Nm<sup>3</sup> in linea con il valore del range BAT-AEL di settore.
- Scenario 3: ha lo scopo di determinare le sole medie short term utilizzando in input i VLE dello scenario emissivo 1 (per cui per i parametri aventi sia VLE medio giornaliero sia medio semiorario è stato considerato il primo). In questo scenario sono stati considerati i soli inquinanti per cui è stabilito un valore limite short term (NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>).
- Scenario 4: ha lo scopo di determinare le sole medie short term e si differenzia dallo scenario emissivo 3 in quanto per i parametri aventi sia VLE medio giornaliero sia medio semiorario considera quest'ultimo.

Nello studio è stato utilizzato il modello di dispersione degli inquinanti in atmosfera CALPUFF (versione 7), indicato dall'EPA (Environmental Protection Agency) degli Stati Uniti come uno dei possibili strumenti modellistici da utilizzare per simulare l'impatto in atmosfera di sostanze inerti in presenza di terreno complesso e condizioni meteorologiche non uniformi sul dominio di simulazione.



Il campo meteorologico per l'intero anno 2020 è stato ricostruito per mezzo del modello meteorologico diagnostico CALMET utilizzando in input sia l'output del modello meteorologico a mesoscala WRF, sia le misure di due stazioni di monitoraggio posizionate all'interno del dominio.

Le simulazioni di dispersione degli inquinanti emessi dallo stabilimento sono state condotte con dettaglio orario su tutte le ore dell'anno 2020. I valori di biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) sono stati stimati applicando il metodo ARM2 con coefficienti specifici per la Toscana per le sorgenti di combustione, e con ipotesi tier 1 (cioè assumendo cautelativamente NO<sub>2</sub>=NO<sub>x</sub>) per la sorgente di affinamento. Le diossine, gli IPA e il mercurio sono stati simulati in parte come gas e in parte come aerosol, con frazioni specifiche per i diversi inquinanti.

Sono state effettuate almeno due ipotesi cautelative:

- Nella simulazione dei singoli metalli si è assunto su indicazione di ARPA Toscana che la concentrazione in emissione coincida con la concentrazione data per una somma di metalli. Ad esempio si è assegnato al solo As il valore di concentrazione nei fumi indicato la somma di Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn.
- Le emissioni sono state mantenute attive per 24 ore/giorno dal lunedì al sabato, e spente solo la domenica. Questo regime emissivo potrebbe essere molto superiore a quello reale.

Gli scenari short term (#3 e #4) non hanno evidenziato superamenti dei limiti di legge per le statistiche di interesse.

Lo scenario 2 non ha mostrato superamenti del valore di riferimento per la media di concentrazione annuale di PCDD/F+PCB-DL. Anche il valore di riferimento relativo alla deposizione media giornaliera è stato rispettato.

Lo scenario 1 mostra alcune criticità poiché i valori di riferimento per le concentrazioni medie annuali di As, Cd e Ni vengono superati. Anche per quanto riguarda le deposizioni si osserva che i valori di riferimento per As, Cd e Ni, Pb e Hg vengono superati. Questo risultato relativo ai metalli è frutto dell'assunzione estremamente cautelativa di considerare come valore di concentrazione nei fumi in emissione per il singolo metallo quello pari al valore autorizzato come sommatoria di metalli. Come ampiamente spiegato e commentato nei capitoli precedenti, si tratta di un'assunzione suggerita da ARPAT a titolo indicativo al fine di valutare l'eventuale necessità di porre delle soglie di attenzione sui valori di alcuni singoli metalli laddove per alcune sorgenti emissive essi siano autorizzati nell'ambito di una sommatoria.

## RIFERIMENTI

ANPA (2000) I modelli nella valutazione della qualità dell'aria. RTI CTN\_ACE 2/2000.

Bellasio R., G.Maffei, J.Scire, M.G.Longoni, R.Bianconi and N.Quaranta (2005) Algorithms to account for topographic shading effects and surface temperature dependence on terrain elevation in diagnostic meteorological models. *Boundary-Layer Meteorology*, 114: 595-614.

Bellasio, R., Bianconi, R., Mosca, S., and Zannetti, P. (2018) Incorporation of Numerical Plume Rise Algorithms in the Lagrangian Particle Model LAPMOD and Validation against the Indianapolis and Kincaid Datasets. *Atmosphere*, 9(10), 404, <https://doi.org/10.3390/atmos9100404>

Cornelis C, De Brouwere K, De Fré R, Goyvaerts MP, Schoeters G, Swaans W, Van Holderbeke M. (2007) Proposal for environmental guideline values for atmospheric deposition of dioxins and PCBs. Final report. Study accomplished under the authority of VMM 2007/IMS/R/277.

Di Domenico A. (1988) Orientamenti per la definizione di livelli d'azione ambientali per policlorodibenzodiossine (PCDD) e policlorodibenzofurani (PCDF). ISTISAN 88/3, Roma. [https://www.iss.it/documents/20126/45616/Pag1\\_24.pdf/0a43a2d2-482c-4a7f-f5bf-07dbdf58857a?t=1581097752077](https://www.iss.it/documents/20126/45616/Pag1_24.pdf/0a43a2d2-482c-4a7f-f5bf-07dbdf58857a?t=1581097752077)

Giovannini F. (2020) Nota metodologica sulla stima modellistica delle deposizioni di PCDD/F e PCB-DL con il modello di dispersione CALPUFF. ARPA Toscana.

Lupi A., Giovannini F., Barbaro A. (2017) ARM2 method to estimate NO2 air concentrations by using NOX air concentrations obtained by air pollution models: Verification and adaptation by using air quality network of Tuscany data. 18th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion

Modelling for Regulatory Purposes. 9-12 October 2017, Bologna, Italy.

Patel A.B., Shaikh S., Jain K.R., Desai C., Madamwar D. (2020) Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources, Toxicity, and Remediation Approaches. *Frontiers in Microbiology*, 11: 562813.

Podrez M. (2015) An update to the ambient ratio method for 1-h NO<sub>2</sub> air quality standards dispersion modeling. *Atmospheric Environment*, 103, 163-170.

Sander R. (2015) Compilation of Henry's law constants (version 4.0) for water as solvent. *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 4399–4981

Scire, J.S., D.G. Strimaitis and R.J. Yamartino, 2000a: A user's guide for the CALPUFF dispersion model (Version 5). Earth Tech. Inc., Concord, MA.

Scire, J.S., F.R. Robe, M.E. Fernau and R.J. Yamartino, 2000b: A user's guide for the CALMET meteorological model (Version 5). Earth Tech. Inc., Concord, MA.

Settimo G. and Viviano G. (2015) Atmospheric depositions of persistent pollutants: methodological aspects and values from case studies. *Ann. Ist. Super. Sanità*, vol. 51, n. 4, pagg. 298-304.

Tang M.J., Cox, R.A., Kalberer M. (2014) Compilation and evaluation of gas phase diffusion coefficients of reactive trace gases in the atmosphere: volume 1. Inorganic compounds. *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 9233–9247

US-EPA (2005). Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Preferred General Purpose (Flat and Complex Terrain) Dispersion Model and Other Revisions; Final Rule. *Federal Register*, Vol. 70, N. 216, November 9, 2005. Rules and Regulations.

US-EPA (2017). Revisions to the Guideline on Air Quality Models: Enhancements to the AERMOD Dispersion Modeling System and Incorporation of Approaches To Address Ozone and Fine Particulate Matter. *Federal Register*, Vol. 82, No. 10, Tuesday, January 17, 2017. Rules and Regulations.

US-EPA (2021) AERMOD v21112 Release MS Teams Webinar. U.S. EPA / OAQPS / Air Quality Modeling Group - Monday, May 24, 2021 ([https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/webinars/AERMOD\\_21112/AERMOD\\_21112\\_Release\\_Webinar.pdf](https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/webinars/AERMOD_21112/AERMOD_21112_Release_Webinar.pdf))

Van Lieshout L, Desmedt M, Roekens E, De Frè R, Van Cleuvenbergen R, Wevers M. Deposition of dioxins in Flanders (Belgium) and a proposition for guide values (2001). *Atmospheric Environment Suppl* 35 (Suppl. 1) S83:90. DOI: 10.1016/S1352-2310(01).

Xu H., Zhu Y., Wang L., Lin C., Jang C., Zhou Q., Yu B., Wang S., Xing J., Yu L. (2019) Source contribution analysis of mercury deposition using an enhanced CALPUFF-Hg in the central Pearl River Delta, China. *Environmental Pollution*, 250, 1032-1043

Yamartino, R.J., J.S. Scire, S. R. Hanna, G.R. Carmichael and Y.S. Chang, 1989: CALGRID: A Mesoscale Photochemical Grid Model. Volume I: Model Formulation Document. California Air Resources Board, Sacramento, CA.



---

Yamartino, R.J., J.S. Scire, S. R. Hanna, G.R. Carmichael and Y.S. Chang, 1992: CALGRID mesoscale photochemical grid model. I – Model formulation, Atmospheric Environment, 26A, 1493-1512.