



SEDE LEGALE

Via Valle d'Aosta 26/28, 30, 32 – 41049 Sassuolo (MO)

SEDE IMPIANTO

Via Valle d'Aosta 26/28, 30, 32 – 41049 Sassuolo (MO)

Studio di Impatto Atmosferico

ENTI COINVOLTI

ARPAE SAC di Modena
ARPAE Distretto territoriale Sud
Comune di Sassuolo

Novembre 2022

~ INDICE ~

1. Introduzione.....	3
1.1 Descrizione del ciclo produttivo attuale.....	3
1.2 Modifiche in progetto	4
2 Valori di riferimento per la qualità dell'aria.....	6
3 Caratterizzazione della qualità dell'aria	9
4 Il sistema modellistico CALMET/CALPUFF.....	12
4.1 Criteri di selezione	12
4.2 CALMET.....	13
4.3 CALPUFF.....	13
5 Ricostruzione del campo meteorologico.....	15
5.1 Dominio	15
5.2 Dati meteorologici in input	18
5.3 Output del modello CALMET	20
5.3.1 Rosa del vento.....	20
5.3.2 Precipitazione	23
5.3.3 Temperatura	24
5.3.4 Altezza di rimescolamento	26
5.3.5 Classi di stabilità di Pasquill Gifford	27
6 Scenari emissivi.....	28
6.1 Scenario Ante Operam	28
6.1 Scenario Post Operam	29
6.3 Building downwash	31
7 Simulazioni di dispersione atmosferica.....	32
7.1 Input del modello CALPUFF	32
7.2 Risultati	33
8 Conclusioni.....	39
9 Riferimenti	40

1. Introduzione

Il presente studio ha l'obiettivo di valutare l'impatto atmosferico indotto dal funzionamento dello stabilimento Zincosider di Sassuolo (Figura 1) nel suo assetto attuale (Ante Operam, AO) e nell'assetto futuro (Post Opera, PO) che prevede le modifiche descritte successivamente.

Allo scopo di valutare le concentrazioni al suolo è stato utilizzato il sistema modellistico CALMET CALPUFF, versione 7, che è uno degli strumenti utilizzabili sia in territori ad orografia semplice, sia in territori caratterizzati da orografia complessa (U.S. EPA, 2017). 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.

Il periodo di simulazione è l'intero anno 2021. La meteorologia oraria con risoluzione spaziale di 500 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.

1.1 Descrizione del ciclo produttivo attuale

L'attività dell'Azienda verte sul trattamento superficiale di pezzi in materiale ferroso conto terzi: forma, peso, dimensione e tipologia dei pezzi possono variare sensibilmente in base alle richieste dei clienti.

L'attività si svolge all'interno di tre capannoni adiacenti e comunicanti nei quali si trovano le vasche per i trattamenti superficiali di metalli. In particolare, in un fabbricato vi sono n.2 linee di zincatura acida (linee 1 e 2) e la linea 3 di fosfatazione e autoforesi, nel secondo una linea di zincatura acida (linea A), mentre all'interno del capannone al civico n. 32 è collocata la seconda linea di zincatura alcalina (linea B).

Le 4 linee di zincatura acida sono tutte uguali come fasi di processo, che corrispondono ad altrettanti passaggi in vasche di trattamento e/o lavaggio, ma possono differire per la dimensione delle vasche. La linea di zincatura alcalina si differenzia dalle altre per il tipo di zincatura, che in questo caso è basica (senza uso di cianuri). Le altre fasi di produzione sono del tutto simili e sequenziali come quelle degli altri impianti.

La zincatura è un trattamento superficiale al quale vengono sottoposti i manufatti in acciaio che necessitano di una efficace protezione anticorrosiva. È un rivestimento di zinco metallo su ferro, ottenuto facendo passare una corrente elettrica in una cella contenente come elettrolitica (bagno) una soluzione acida o alcalina di sali di zinco. Il ferro da proteggere funge da catodo mentre lo zinco è l'anodo. Sotto l'azione della corrente elettrica gli ioni di zinco si depositano al catodo cioè sul ferro.

Simultaneamente all'anodo entrano in soluzione dei nuovi "ioni zinco" in maniera che ci sia sempre

lo stesso numero di ioni zinco nella soluzione. L'anodo si consuma nel tempo e deve essere sostituito.

Al termine del processo di elettrodeposizione dello strato di zinco si esegue solitamente una "passivazione" dello stesso per incrementarne le caratteristiche di resistenza e conferirgli la colorazione richiesta.

1.2 Modifiche in progetto

Il progetto prevede le seguenti modifiche di carattere impiantistico:

- Introduzione di una nuova linea di zincatura acida comprensiva di pretrattamenti;
- Introduzione di una linea di cataforesi associata alla linea di zincatura e collegata attraverso un traslatore; il pretrattamento dei pezzi verrà effettuato sulla linea di zincatura per poi passare attraverso il traslatore sulla linea di cataforesi (i pretrattamenti saranno in comune per entrambe le linee);
- Le suddette modifiche comporteranno un aumento del volume di vasche di trattamento (da 204 a 241 mc);
- Trasformazione dell'attuale linea di fosfatazione e anaforesi in una linea di zincatura acida, con una leggera variazione nella volumetria delle vasche (conteggiata nell'aumento di cui al punto precedente).
- Introduzione di un nuovo impianto di abbattimento ad umido che tratterà le aspirazioni provenienti dalla linea di zincatura B, attualmente recapitante in E1, e dal nuovo impianto combinato zincatura+cataforesi. L'emissione E1 verrà invece utilizzata per le Linee 1 e 2 e per la linea di zincatura ottenuta dalla conversione della linea di fosfatazione e autoforesi, attualmente recapitante in E5ZS (emissione che sarà dismessa).
- Miglioramento dell'impianto di depurazione acque con introduzione di un nuovo sedimentatore lamellare;
- Smaltimento di una parte delle coperture in cemento-amianto (c.d. eternit) e installazione di un impianto a pannelli fotovoltaici da 250 kW di potenza.

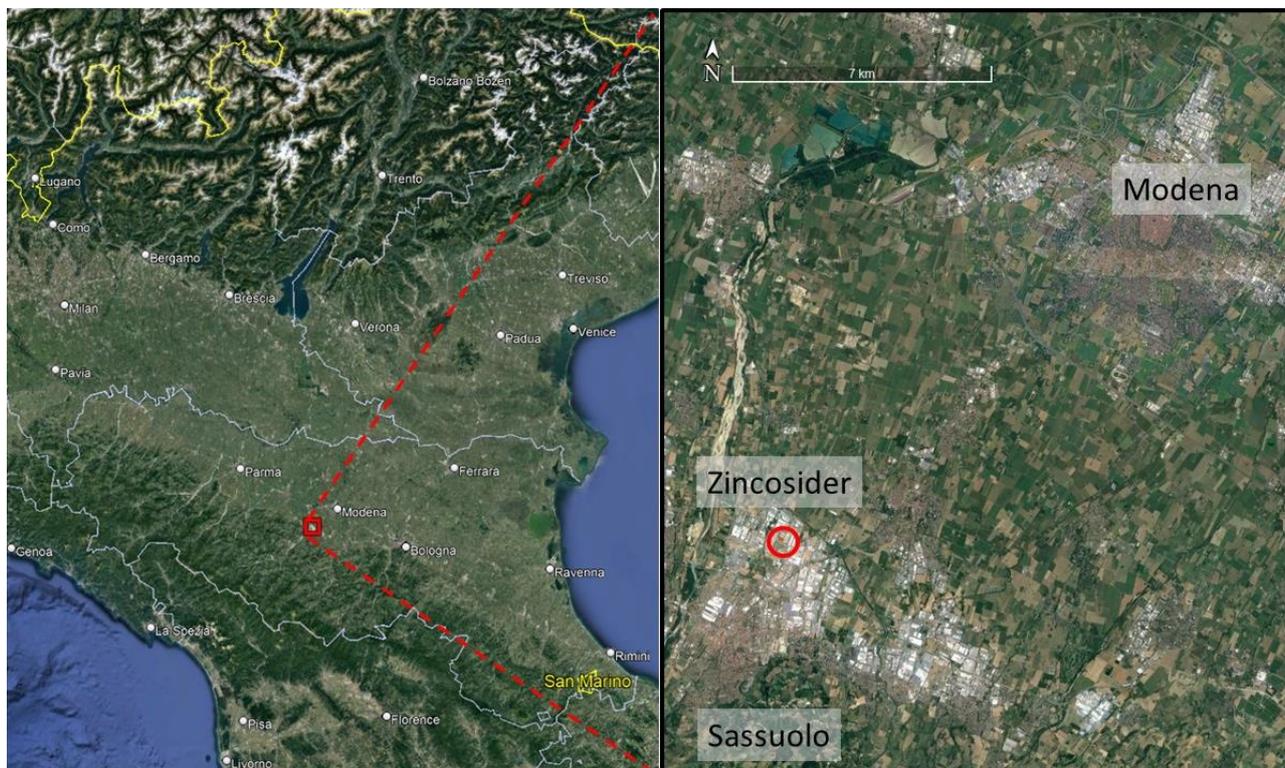


Figura 1. Posizione dell'impianto Zincosider di Sassuolo (MO).

2 Valori di riferimento per la qualità dell'aria

La normativa sulla qualità dell'aria attualmente in vigore 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, NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, C₆H₆, Benzo(a)pirene, Pb, As, Cd e Ni.

Il decreto stabilisce:

- i valori limite per le concentrazioni nell'aria ambiente di biossido di zolfo, biossido di azoto, benzene, monossido di carbonio e PM₁₀;
- i livelli critici per le concentrazioni nell'aria ambiente di biossido di zolfo e ossidi di azoto;
- le soglie di allarme per le concentrazioni nell'aria ambiente di biossido di zolfo e biossido di azoto;
- 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_{2.5}.

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 µg/m³, mentre il percentile 99.18 della concentrazione media giornaliera non deve superare i 125 µg/m³.

Analogamente per il biossido di azoto il percentile 99.79 della concentrazione media oraria non deve superare i 200 µg/m³.

Per quanto riguarda il PM₁₀ il percentile 90.41 delle concentrazioni medie giornaliere non deve superare i 50 µg/m³.

Per il benzene il Decreto stabilisce un valore limite di 5 µg/m³ 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:

- SO₂: 500 µg/m³ misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno 100 km² oppure in una intera zona o un intero agglomerato, nel caso siano meno estesi.

- NO₂: 400 µg/m³ misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno 100 km² oppure in una intera zona o un intero agglomerato, nel caso siano meno estesi.
- O₃: 180 µg/m³ come media su 1 ora per finalità di informazione; 240 µg/m³ 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 sono pari a 20 µg/m³ e 30 µg/m³ come media sull'anno civile, rispettivamente per SO₂ e NO_x.

Relativamente agli IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici) e ai metalli invece, il D. Lgs. 155/2010 stabilisce i seguenti valori obiettivo per la media sull'anno civile: 1 ng/m³ per il benzo(a)pirene (usato come indicatore per gli IPA), 6 ng/m³ per l'arsenico, 5 ng/m³ per il cadmio, e 20 ng/m³ per il nichel.

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 µg/m ³ da non superare più di 24 volte per anno civile
Biossido di zolfo	24 ore	125 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile
Biossido di azoto	1 ora	200 µg/m ³ da non superare più di 18 volte per anno civile
Biossido di azoto	Anno civile	40 µg/m ³
Benzene	Anno civile	5 µg/m ³
Monossido di carbonio	Media massima giornaliera di 8 ore ⁽¹⁾	10 mg/m ³
Piombo	Anno civile	0.5 µg/m ³
PM10	24 ore	50 µg/m ³ da non superare più di 35 volte per anno civile
PM10	Anno civile	40 µg/m ³
PM2.5	Anno civile	25 µg/m ³

⁽¹⁾ 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.

Gli inquinanti di interesse in questo studio sono:

- Acido fluoridrico e ione fluoro (come HF)
- Acido cloridrico e ione cloro (come HCl)
- SOV (come carbonio organico totale)

Tali inquinanti non sono tra quelli regolamentati dal D.Lgs. 155/2010.

Per i COV considerati nella loro totalità il DPCM 28/03/1983 – ora abrogato - stabiliva un valore limite pari a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tale limite si riferiva agli idrocarburi totali escluso il metano ed era definito per la concentrazione media di 3 ore consecutive in periodi del giorno da specificarsi secondo le zone a cura delle autorità regionali competenti. Esso era inoltre da adottare soltanto nelle zone e nei periodi dell'anno nei quali si fossero verificati superamenti significativi dell'allora vigente standard di qualità dell'aria per l'ozono. Pur essendo stato abrogato, il DPCM 28/03/1983 è l'unico strumento normativo che può fornire valori di riferimento per i SOV.

Per quanto riguarda HF e HCl si fa riferimento, in mancanza di legislazione nazionale, agli ASIL (Acceptable Source Impact Level) definiti dallo Stato di Washington¹. Il WAC² 173-460-150 stabilisce per HF un ASIL di 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e per HCl un valore di 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, entrambi relativi alla media di 24 ore.

¹ <https://app.leg.wa.gov/WAC/default.aspx?cite=173-460-150>

² Washington Administrative Code

3 Caratterizzazione della qualità dell'aria

Relativamente vicino allo stabilimento Zincosider sono presenti due stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria posizionate come mostrato in Figura 2. Le coordinate UTM32 delle due stazioni sono riportate in Tabella 2. La posizione di dettaglio delle due stazioni è mostrata in Figura 3 e in Figura 4. La stazione di Fiorano Modenese (San Francesco) è ubicata a circa 3.2 km in direzione SSE dallo stabilimento, mentre la stazione di Sassuolo (Parco Edilcarani) è ubicata a circa 3.2 km in direzione SSW dallo stabilimento. I dati di qualità dell'aria sono disponibili tramite il Dataset Opendata di ARPA Emilia Romagna³. Purtroppo, nessuno tra gli inquinanti di interesse in questo studio (HF, HCl e SOV) viene misurato dalle due stazioni durante l'anno 2021.

Tra gli inquinanti tipicamente misurati dalle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria, il benzene potrebbe essere considerato come indicatore della presenza di composti organici volatili. La stazione di monitoraggio che misura benzene più prossima all'impianto è quella di via Giardini a Modena, ubicata a circa 11.2 km in direzione NE. Pur essendo evidente che le misure di tale stazione non sono rappresentative per l'area dell'impianto, i dati relativi al 2021 sono stati scaricati ed analizzati. I dati validi di C₆H₆ misurati nella stazione di via Giardini nell'anno 2021 sono stati pari al 90.1% del totale, con un valore massimo pari a 6.4 µg/m³, ed un valore medio pari a 1.2 µg/m³ (minore del limite di 5 µg/m³ stabilito dal D.Lgs. 155/2010).

³ <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/aria/dati-qualita-aria/stazioni-fisse>

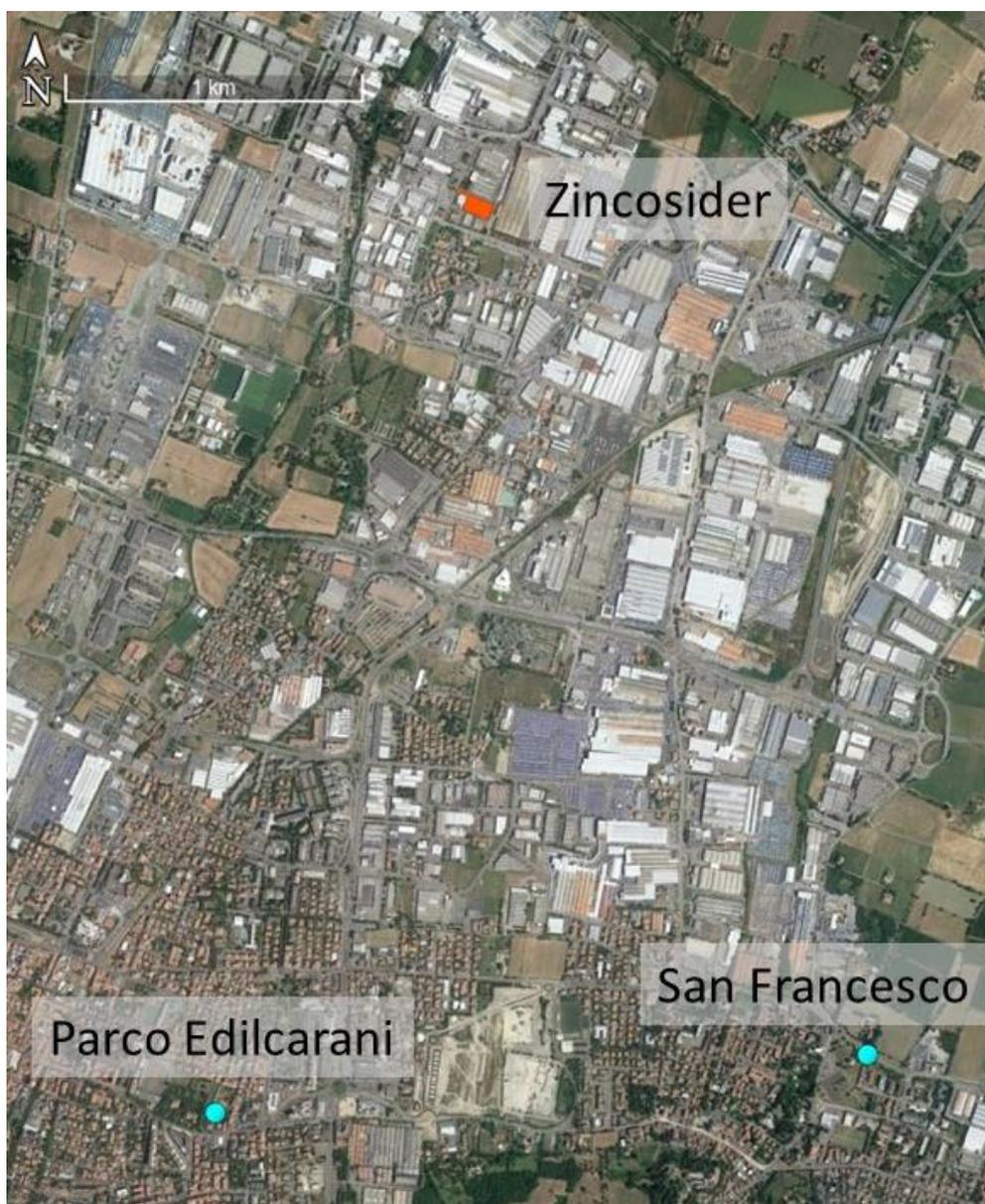


Figura 2. Posizione delle due stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria.

Tabella 2. Coordinate UTM32T delle stazioni di qualità dell'aria.

Stazione	Easting (m)	Northing (m)
Parco Edilcarani – Sassuolo	642314	4933349
San Francesco – Fiorano Modenese	644496	4933594



Figura 3. Dettaglio sulla posizione della stazione di monitoraggio Parco Edilcarani di Sassuolo.

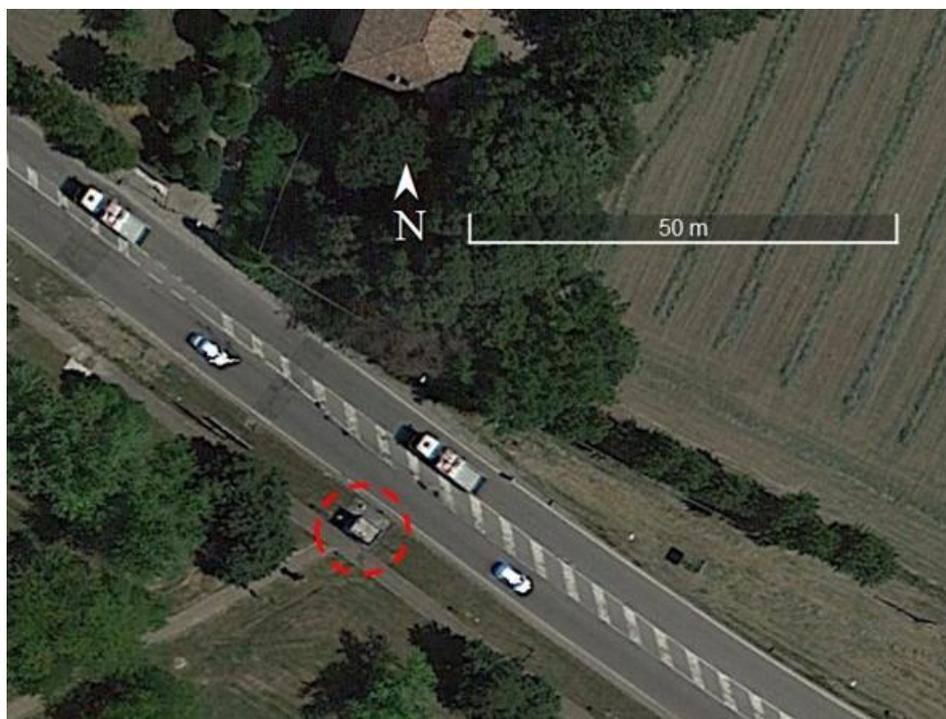


Figura 4. Dettaglio sulla posizione della stazione di monitoraggio San Francesco di Fiorano Modenese.

4 Il sistema modellistico CALMET/CALPUFF

4.1 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.

4.2 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.

4.3 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 emmissive 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.

5 Ricostruzione del campo meteorologico

5.1 Dominio

Il dominio di simulazione del modello meteorologico diagnostico CALMET è rappresentato in Figura 5 con un quadrato viola. In figura viene inoltre mostrata la posizione dello stabilimento per mezzo di un quadrato rosso. Le coordinate UTM 32T dell'angolo di Sud Ovest del dominio di CALMET sono E = 612000 m, N = 4904000 m; la dimensione del dominio di simulazione è di 60x60 km² con una griglia di calcolo di 500 m.

Il dominio del modello meteorologico CALMET è stato scelto 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 molto complessa nella zona meridionale del dominio - caratterizzata dalla presenza di diversi rilievi - ed orografia relativamente semplice nella zona settentrionale. Lo stabilimento oggetto dello studio si trova più o meno nella zona di confine tra queste due aree.

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 Google Earth. L'orografia media sulle celle di lato pari a 500 m (Figura 6) varia da circa 12 metri a circa 1830 m nell'area sudoccidentale del dominio. La mappa di utilizzo prevalente del suolo è mostrata in Figura 7. 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 2021.

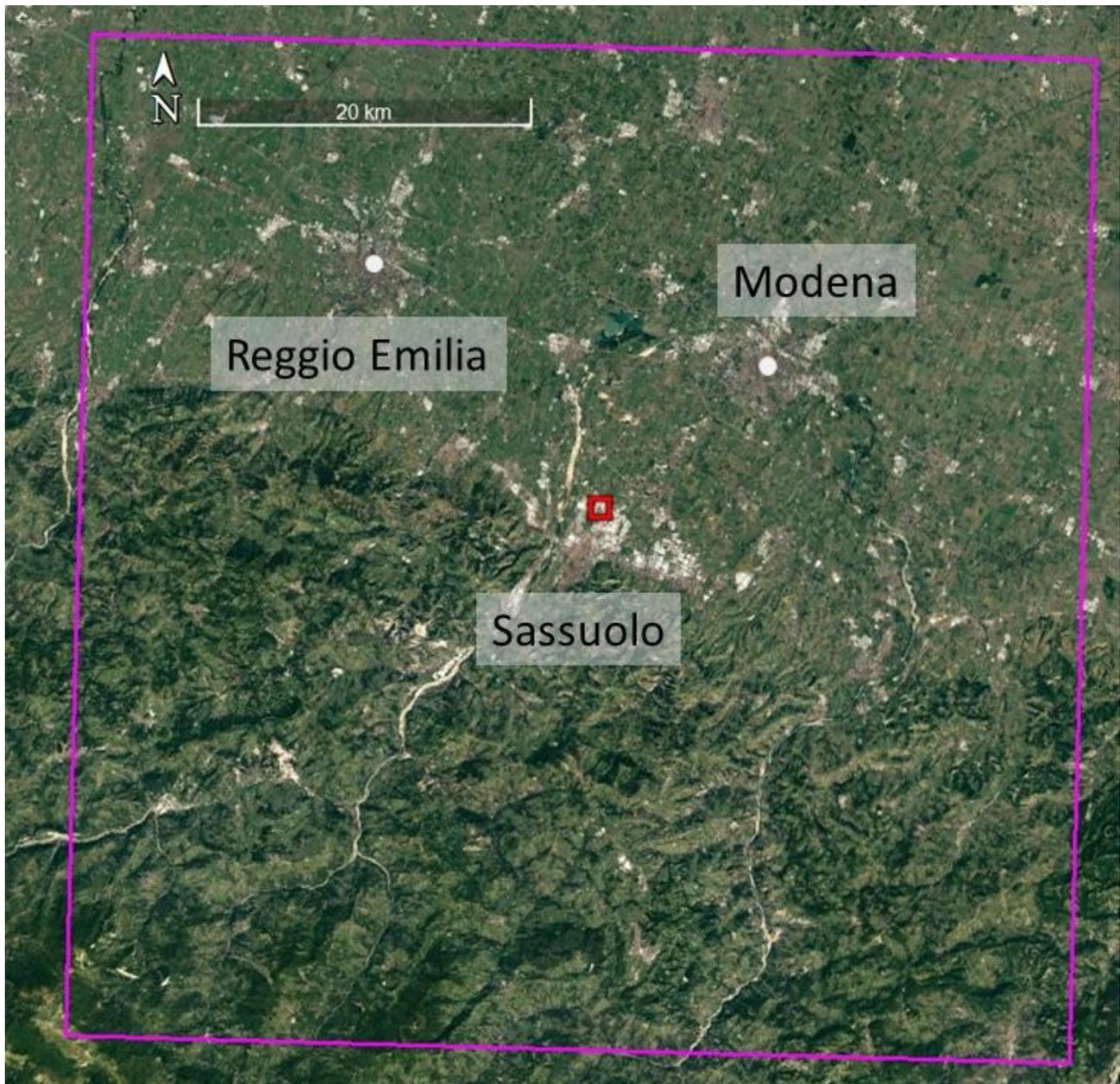


Figura 5. Dominio di simulazione del modello CALMET.

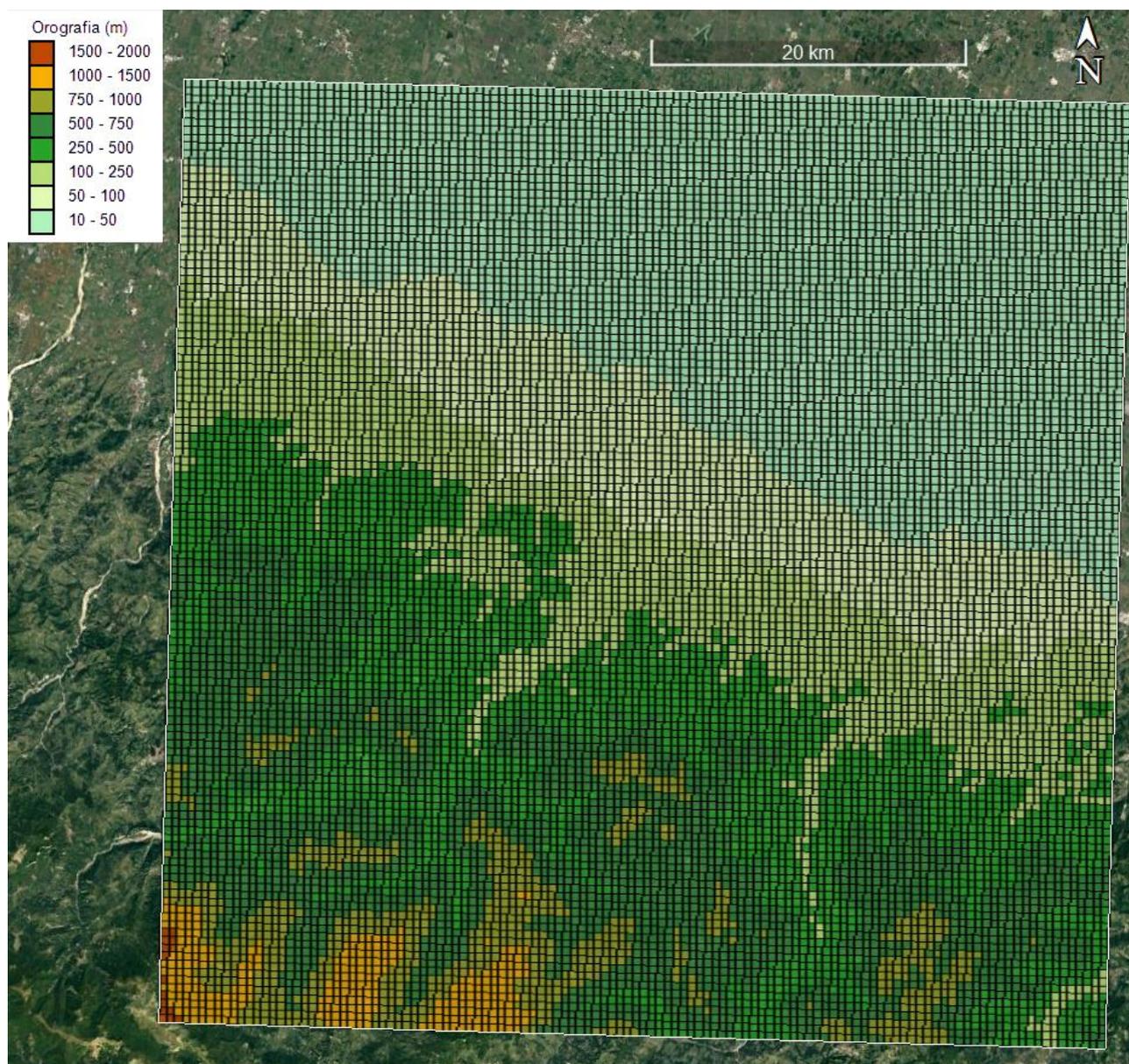


Figura 6. Orografia sul dominio discretizzato con celle di 500 m.

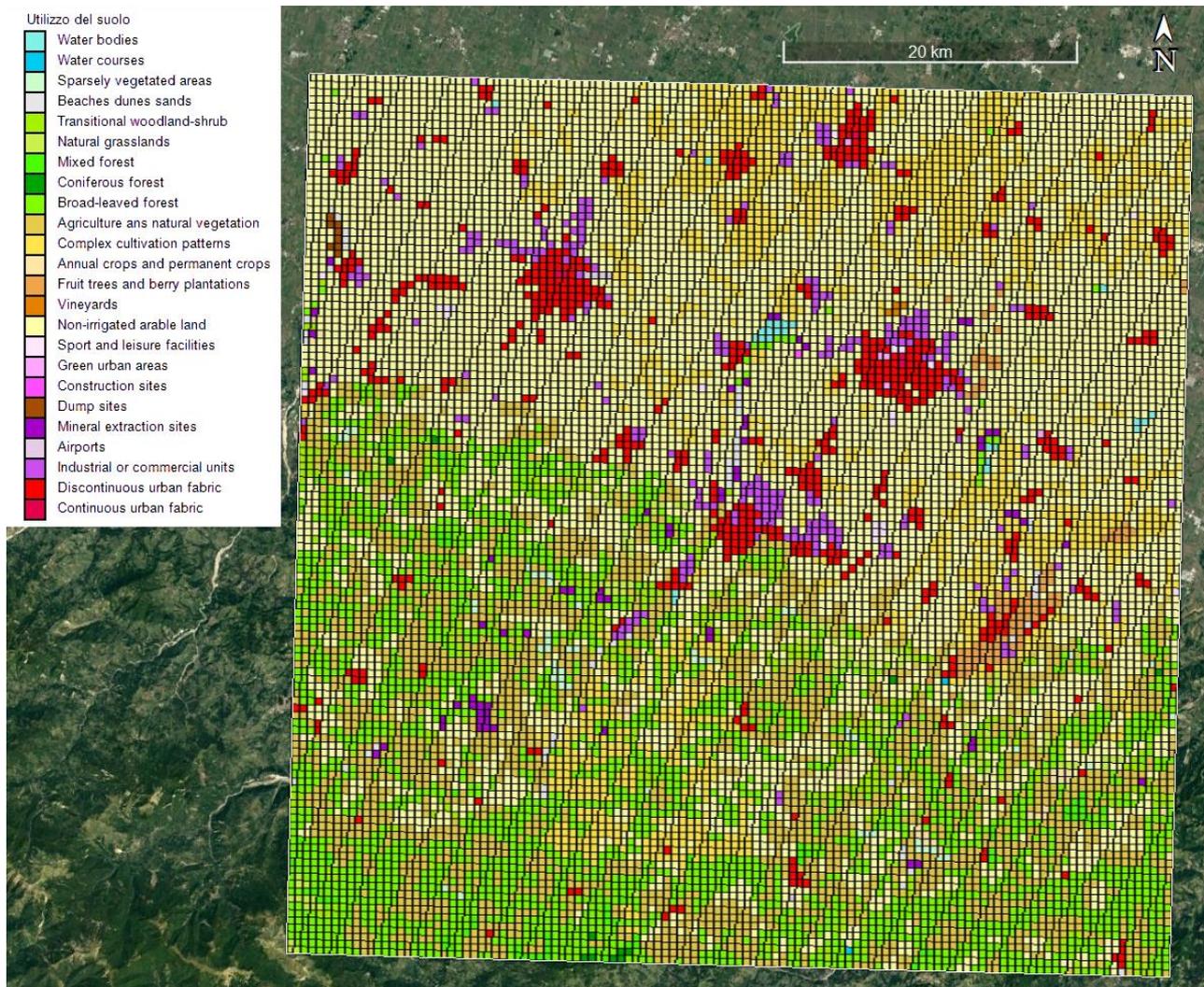


Figura 7. Utilizzo del suolo sul dominio discretizzato con celle di 500 m.

5.2 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.

In questo studio CALMET è stato alimentato dai soli dati di output del modello a mesoscala WRF (Weather Research and Forecasting)⁴ relativi all'intero anno 2021. La simulazione di WRF è stata effettuata su tre domini innestati (Figura 8), 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 ore⁵. Il dominio più interno di WRF ha una dimensione di circa 200x200 km² 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.

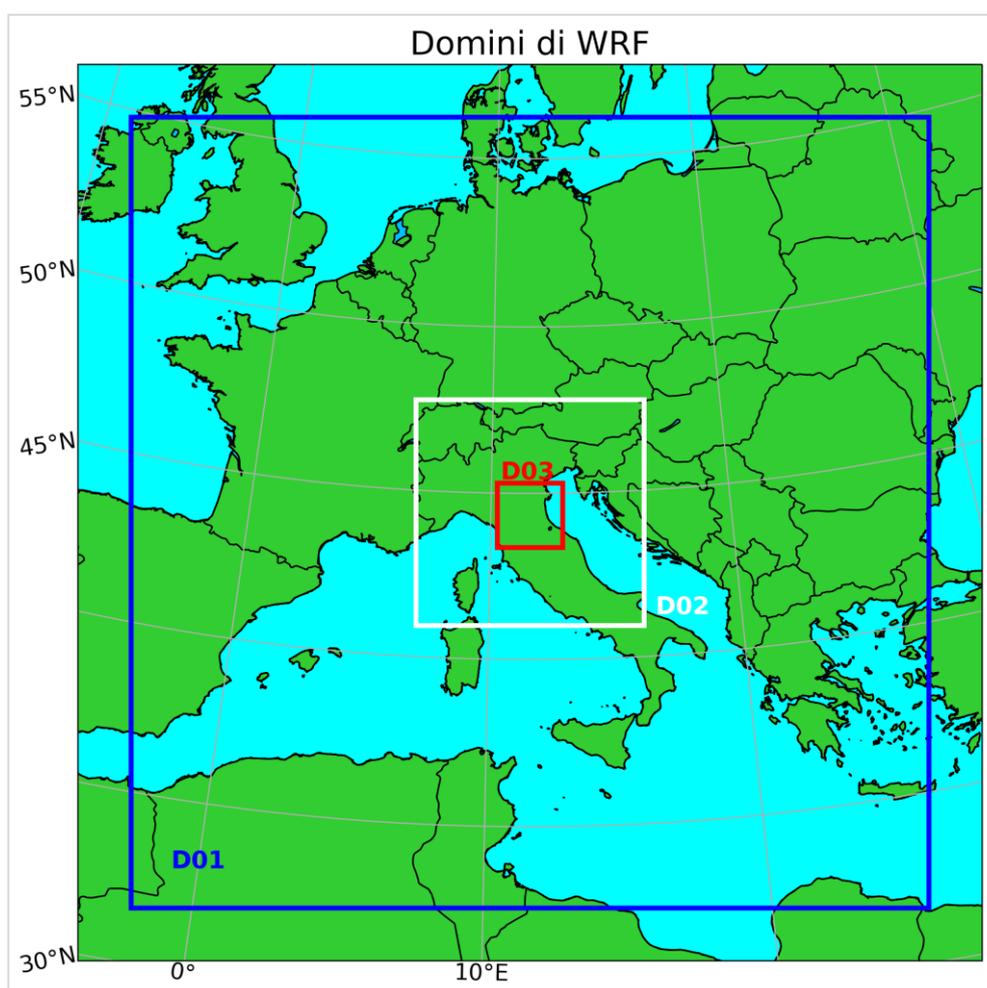


Figura 8. Domini di simulazione del modello meteorologico WRF.

⁴ <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

⁵ <https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2>

5.3 Output del modello CALMET

I dati di output di CALMET alla quota di 10 m sopra il suolo sono stati estratti dalla cella contenente lo stabilimento ed utilizzati per effettuare le analisi descritte di seguito.

5.3.1 Rosa del vento

La rosa dei venti ottenuta dai dati di CALMET sopra lo stabilimento è mostrata in Figura 9. Le direzioni prevalenti sono WNW, ESE e SW. I venti più intensi arrivano proprio dalla direzione SW, probabilmente in uscita dalla valle del Secchia. Le rose del vento mensili sono mostrate in Figura 10 mentre le rose del vento orarie sono mostrate in Figura 11 e Figura 12. Le rose del vento mensili mostrano che nei mesi da novembre a febbraio i venti sono più o meno allineati da WNW a ESE, mentre negli altri mesi sono più evidenti le componenti da SW.

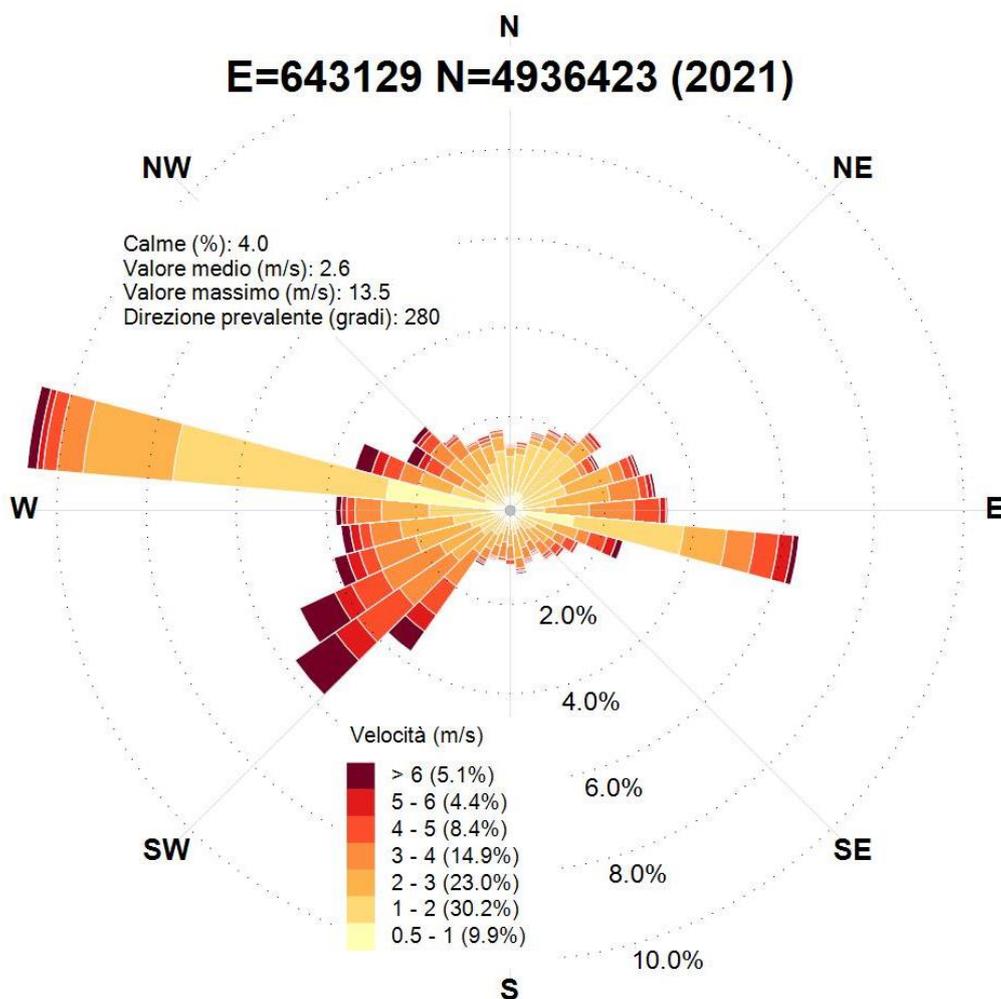


Figura 9. Rosa dei venti 2021 ottenuta dai dati di CALMET da un punto sopra lo stabilimento.

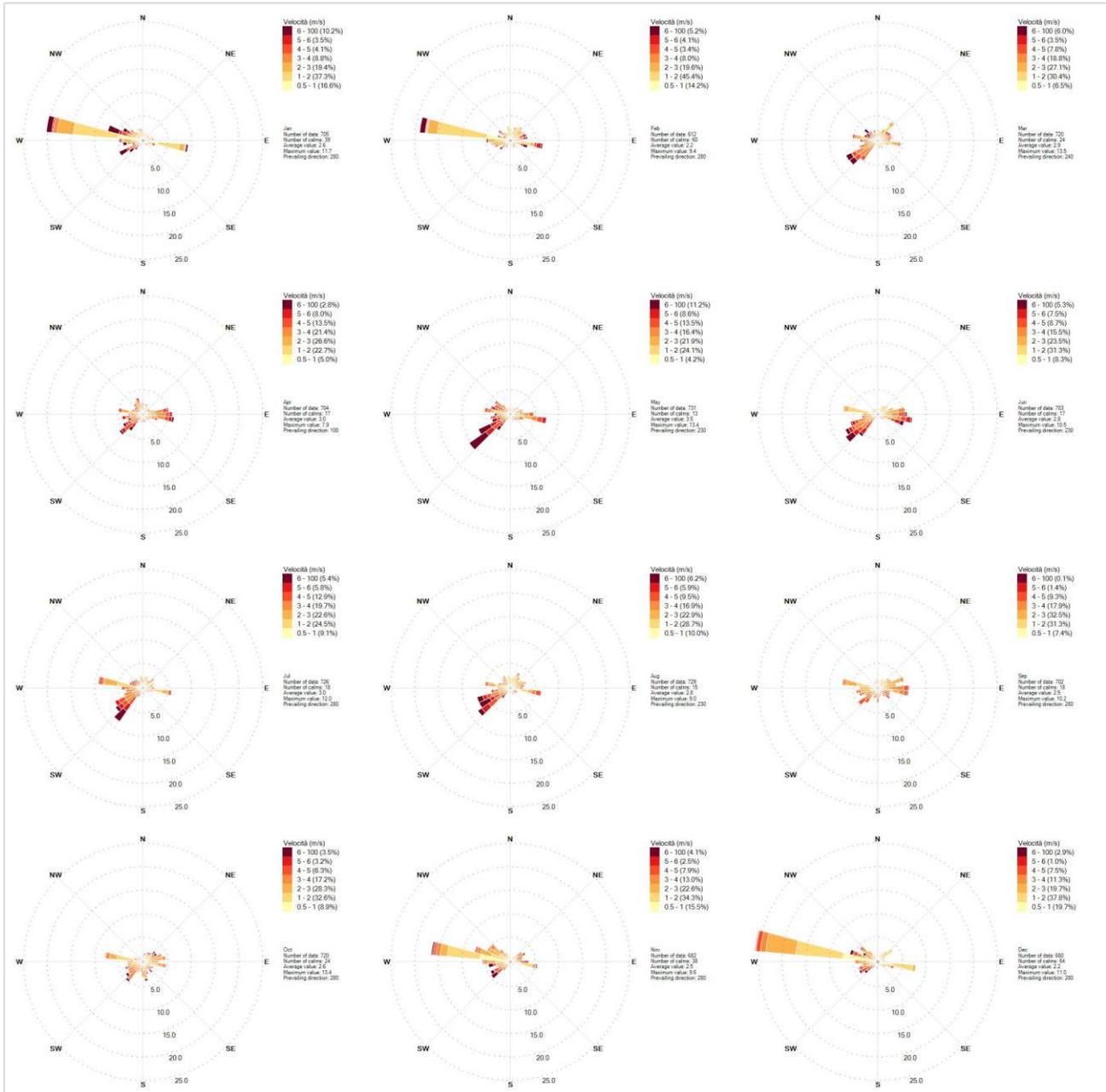


Figura 10. Rose dei venti mensili 2021 per un punto sopra lo stabilimento.

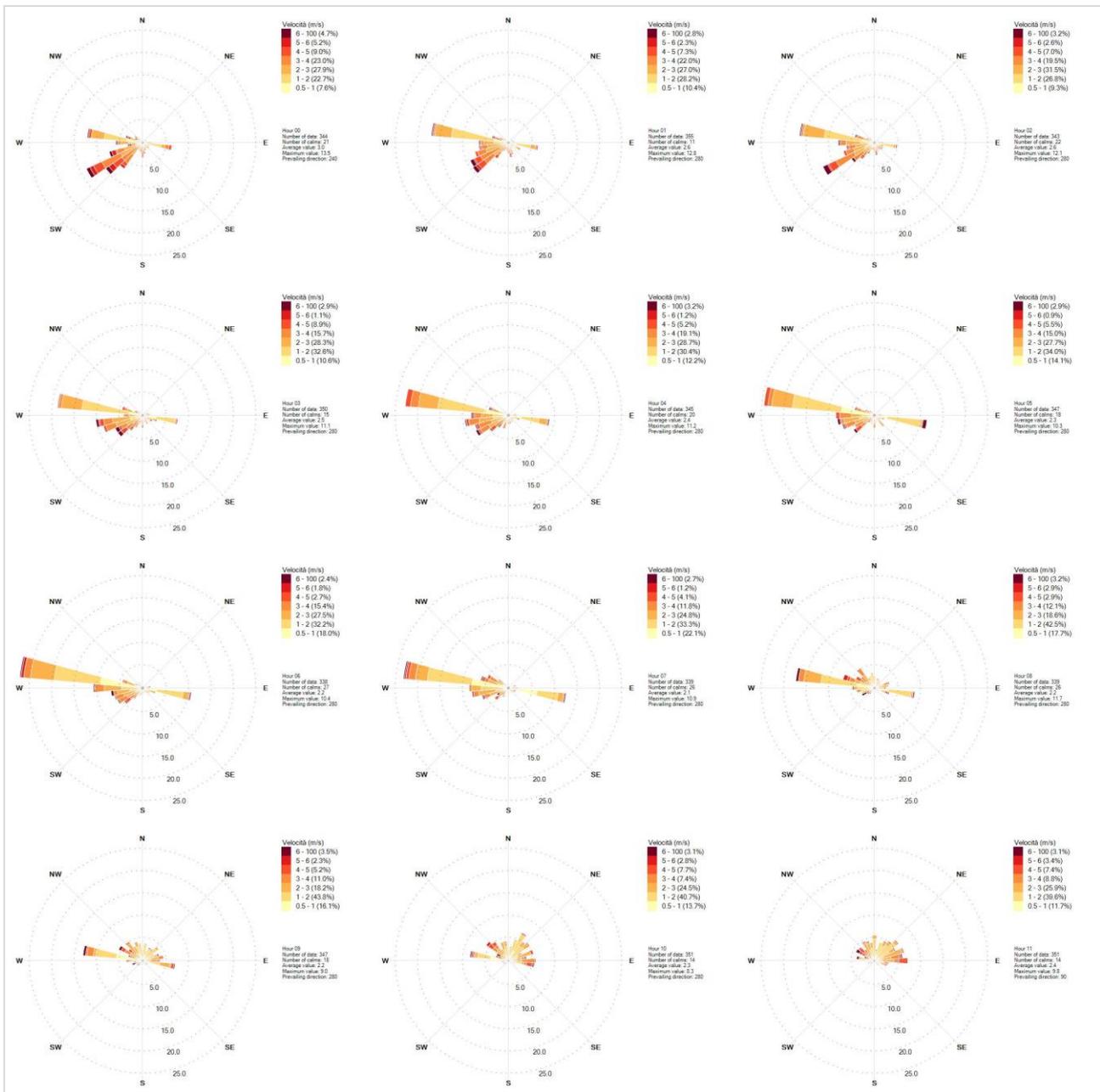


Figura 11. Rose dei venti orarie 2021 (00-11) per un punto sopra lo stabilimento.

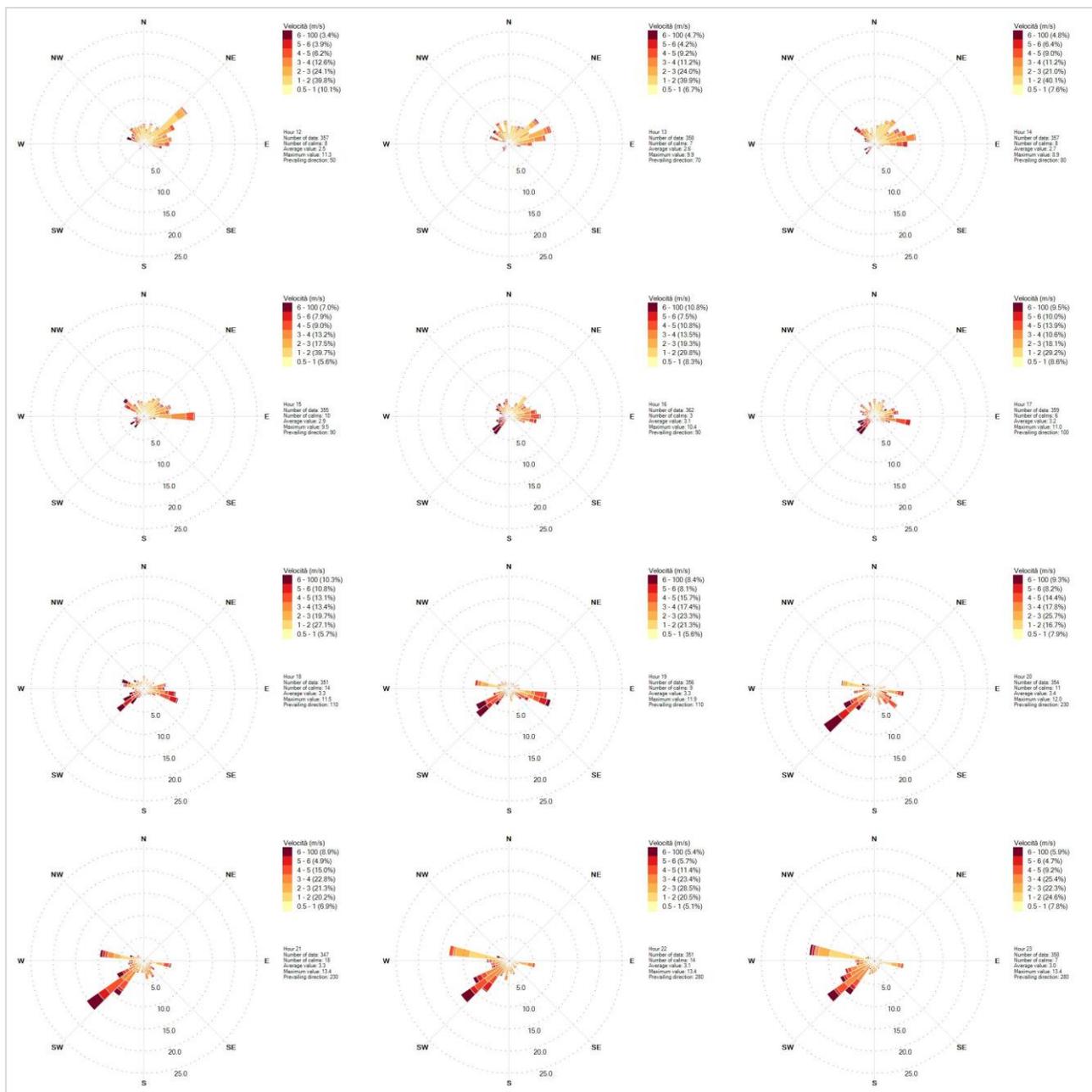


Figura 12. Rose dei venti orarie 2021 (12-23) per un punto sopra lo stabilimento.

5.3.2 Precipitazione

La precipitazione mensile per l'anno 2021 ottenuta dai dati estratti da CALMET sullo stabilimento è mostrata in Figura 13. Il valore massimo è in novembre con 145 mm, mentre il valore minimo è in marzo con 12 mm. La precipitazione totale annuale è pari a 590 mm, un valore molto basso che

però è in linea con la precipitazione media a livello regionale, pari a 659 mm, e con la precipitazione misurata a Sassuolo, pari a 482 mm⁶.

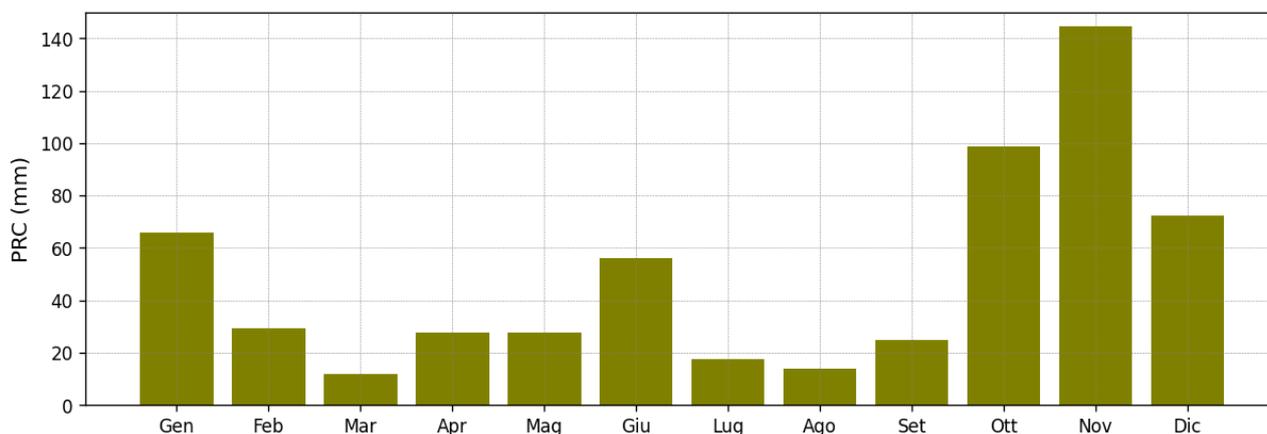


Figura 13. Precipitazione mensile 2021 per un punto sopra lo stabilimento.

5.3.3 Temperatura

La distribuzione mensile delle temperature ottenuta dai dati estratti da CALMET sullo stabilimento è mostrata in Figura 14 per mezzo di un grafico “box and whiskers”. In tale grafico il rettangolo (box) verticale si estende dal primo al terzo quartile dei dati (cioè dal valore corrispondente al 25% della distribuzione a quello corrispondente al 75%), la linea orizzontale all’interno del rettangolo rappresenta la mediana, mentre il triangolo rappresenta la media; i due segmenti orizzontali (whiskers) agli estremi rappresentano il valore minimo e il valore massimo dei dati.

La temperatura media annuale ottenuta da CALMET sullo stabilimento è pari a 14.9 °C, in accordo con quella rilevata dalla stazione di monitoraggio Ponte Veggia, ubicata a circa 3.2 km in direzione SW, pari a 13.8 °C⁶. La differenza potrebbe essere dovuta al diverso utilizzo del suolo nella zona dello stabilimento (area edificata industriale) e nella zona del pluviometro (fiume Secchia).

⁶ Rapporto IdroMeteoClima Emilia Romagna. Dati 2021. <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/meteo/report-meteo/rapporti-annuali/rapporto-idrometeoclima-2021/view>

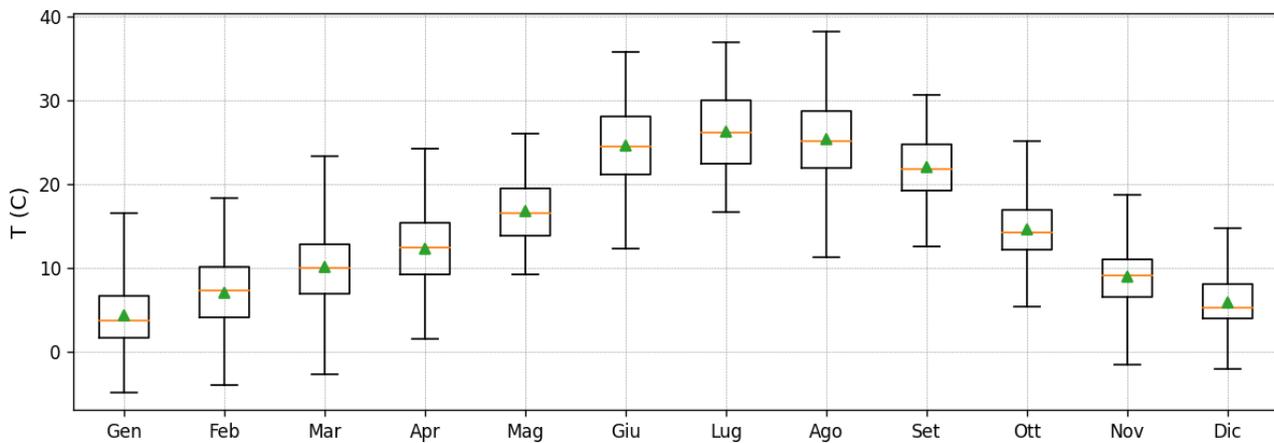


Figura 14. Distribuzione mensile delle temperature 2021 per un punto sopra lo stabilimento.

Elaborando i dati di precipitazione e di temperatura estratti da CALMET è stato costruito il diagramma di Peguy (Figura 15). In tale diagramma vengono mostrate in verde, per ogni mese, la temperatura media e la precipitazione totale, mentre in blu vengono suddivisi i mesi in funzione delle caratteristiche climatiche. All'interno dell'area triangolare blu si trovano i mesi temperati, a sinistra i mesi freddi e temperati, a destra quelli caldi e umidi, e in basso i mesi aridi. Anche la Figura 15 mostra la scarsità delle precipitazioni, classificando diversi mesi aridi o al limite tra temperati e aridi.

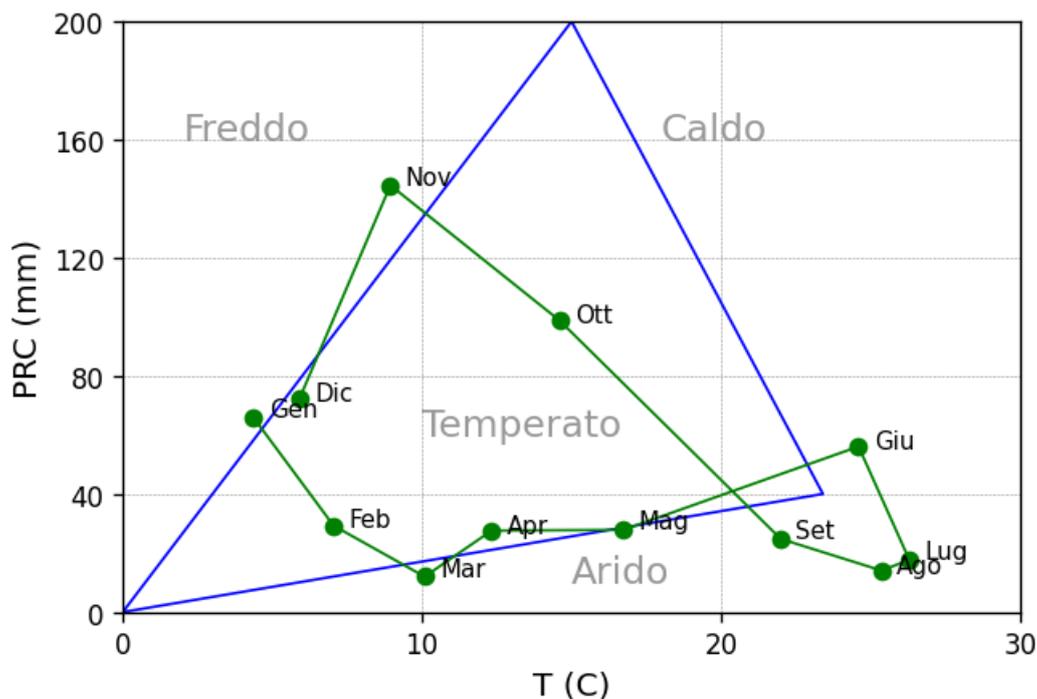


Figura 15. Diagramma di Peguy 2021 per un punto sopra lo stabilimento.

5.3.4 Altezza di rimescolamento

La distribuzione mensile dell'altezza di rimescolamento ottenuta dai dati estratti da CALMET sullo stabilimento è mostrata in Figura 16 per mezzo di un grafico "box and whiskers", il cui significato è stato spiegato per la temperatura. Come atteso, i valori sono mediamente maggiori durante i mesi caldi a causa della maggiore turbolenza di origine convettiva dovuta alla radiazione solare.

Il giorno tipo dell'altezza di rimescolamento è mostrato in Figura 17. I valori minimi si hanno durante la notte, caratterizzata da stabilità atmosferica, mentre di giorno i valori aumentano all'aumentare della radiazione solare.

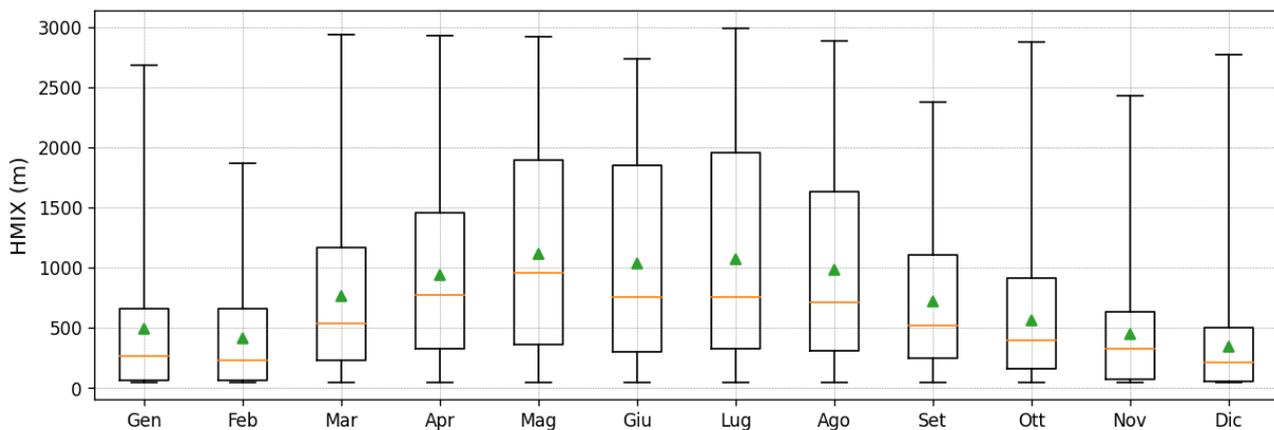


Figura 16. Distribuzione mensile dell'altezza di rimescolamento 2021 per un punto sopra lo stabilimento.

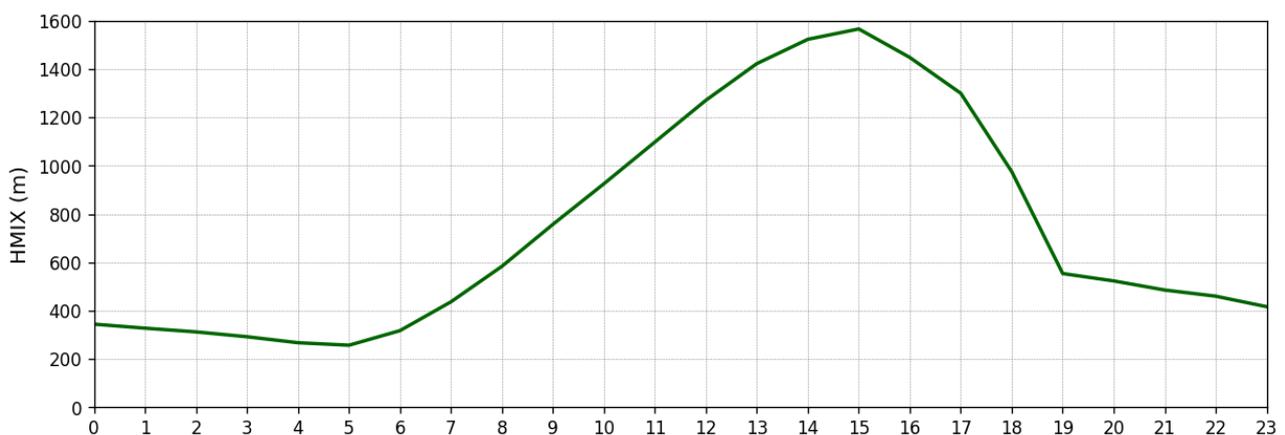


Figura 17. Giorno tipo dell'altezza di rimescolamento 2021 per un punto sopra lo stabilimento.

5.3.5 Classi di stabilità di Pasquill Gifford

La distribuzione percentuale delle classi di stabilità atmosferica di Pasquill Gifford è mostrata in Figura 18. La classe più probabile è la F (quasi 33% delle ore dell'anno), corrispondente a condizioni stabili in cui la turbolenza atmosferica risulta minima. Al contrario, la classe A corrispondente a condizioni estremamente instabili è presente per poco più del 2% delle ore dell'anno.

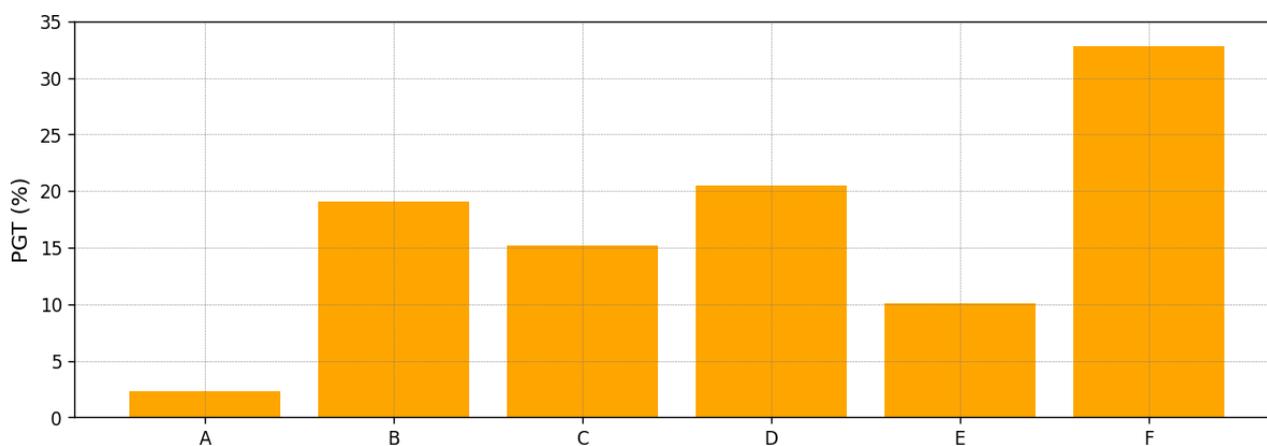


Figura 18. Distribuzione percentuale delle classi di stabilità atmosferica 2021 per un punto sopra lo stabilimento.

6 Scenari emissivi

Come descritto nel paragrafo introduttivo, vengono considerati due scenari emissivi denominati Ante Operam (situazione attuale) e Post Operam (situazione futura a valle della realizzazione del progetto).

6.1 Scenario Ante Operam

Gli inquinanti emessi nello scenario Ante Operam sono acido fluoridrico e ione fluoro (come HF), e acido cloridrico e ione cloro (come HCl).

Le sorgenti attive nello scenario di simulazione Ante Operam sono mostrate in Figura 19. La figura mostra anche gli edifici che sono stati utilizzati per simulare l'effetto building downwash e il perimetro di impianto (poligono blu).

Le caratteristiche geometriche dei camini, descritti nel modello di simulazione per mezzo di sorgenti puntiformi, sono riepilogate in Tabella 3. E e N indicano le coordinate UTM nella zona 32T, H è l'altezza del camino e D il suo diametro. La Tabella 3 riporta inoltre il tempo di funzionamento delle emissioni: 260 giorni anno (calcolati come 5 giorni/settimana, da lunedì a venerdì, per 52 settimane/anno) e 16 ore/giorno (dalle 06:00 alle 22:00).

La Tabella 4 riepiloga le caratteristiche emissive delle sorgenti. Per la temperatura di uscita dei fumi, indicata come "Ambiente", è stata considerata la media dei valori estratti da CALMET sopra l'impianto, pari a 14.9 °C. I ratei emissivi dei due inquinanti sono stati calcolati a partire da una concentrazione nei fumi delle tre sorgenti pari a 2 mg/Nm³ per HF e 5 mg/Nm³ per HCl. La velocità di uscita dei fumi non viene riportata perché la direzione di sbocco dei camini è orizzontale, pertanto essi verranno simulati con FMFAC=0 in CALPUFF, in modo da ridurre la componente meccanica del plume rise⁷.

⁷ Si veda ad esempio pagina 88 di "British Columbia air quality dispersion modelling guideline" (https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/air/reports-pub/bc_dispersion_modelling_guideline_2021.pdf)



Figura 19. Posizioni delle sorgenti. Scenario Ante Operam.

Tabella 3. Caratteristiche geometriche delle sorgenti. Scenario Ante Operam.

Sorgente	E (m)	N (m)	H (m)	D (m)	Giorni/anno	Ore/giorno
E1	643132	4936418	8	0.6	260	16
E2	643092	4936430	8	0.8	260	16
E5ZS	643118	4936419	8	0.6	260	16

Tabella 4. Caratteristiche emissive delle sorgenti. Scenario Ante Operam.

Sorgente	Q (Nm ³ /h)	T (°C)	HF (g/s)	HCl (g/s)	Direzione sbocco
E1	28000	Ambiente	1.556E-02	3.889E-02	Orizzontale
E2	9000	Ambiente	5.000E-03	1.250E-02	Orizzontale
E5ZS	15000	Ambiente	8.333E-03	2.083E-02	Orizzontale

6.1 Scenario Post Operam

Nello scenario Post Operam agli inquinanti emessi nello scenario Ante Operam (HF e HCl) si aggiungono le sostanze organiche volatili (SOV).

Le sorgenti attive nello scenario di simulazione Post Operam sono mostrate in Figura 20. La figura mostra anche gli edifici che sono stati utilizzati per simulare l'effetto building downwash e il perimetro di impianto (poligono blu).

Le caratteristiche geometriche dei camini, descritti nel modello di simulazione per mezzo di sorgenti puntiformi, sono riepilogate in Tabella 5. E e N indicano le coordinate UTM nella zona 32T, H è l'altezza del camino e D il suo diametro. Le caratteristiche geometriche dei camini E1 ed E2 rimangono inalterate rispetto allo scenario AO; è scomparso invece il camino E5ZS e sono comparsi i camini E5 ed E6. La Tabella 5 riporta inoltre il tempo di funzionamento delle emissioni: 260 giorni anno (calcolati come 5 giorni/settimana, da lunedì a venerdì, per 52 settimane/anno) e 24 ore/giorno.

La Tabella 6 riepiloga le caratteristiche emissive delle sorgenti. Per la temperatura di uscita dei fumi di E1, E2 ed E5, indicata come "Ambiente", è stata considerata la media dei valori estratti da CALMET sopra l'impianto, pari a 14.9 °C. I ratei emissivi dei tre inquinanti sono stati calcolati utilizzando una concentrazione nei fumi pari a 1.8 mg/Nm³ per HF e 4.5 mg/Nm³ per HCl nelle sorgenti E1, E2 ed E5, mentre la sorgente E5 non emette tali inquinanti. Invece, la concentrazione di SOV nei fumi è nulla per E1 ed E2, e pari a 50 mg/Nm³ per E5 ed E6. La velocità di uscita dei fumi non viene riportata perché la direzione di sbocco dei camini è orizzontale, pertanto essi verranno simulati con FMFAC=0 in CALPUFF, in modo da ridurre la componente meccanica del plume rise⁷.



Figura 20. Posizioni delle sorgenti. Scenario Post Operam.

Tabella 5. Caratteristiche geometriche delle sorgenti. Scenario Post Operam.

Sorgente	E (m)	N (m)	H (m)	D (m)	Giorni/anno	Ore/giorno
E1	643132	4936418	8	0.6	260	24
E2	643092	4936430	8	0.8	260	24
E5	643119	4936423	8	0.6	260	24
E6	643140	4936398	8	0.4	260	24

Tabella 6. Caratteristiche emissive delle sorgenti. Scenario Post Operam.

Sorgente	Q (Nm ³ /h)	T (°C)	HF (g/s)	HCl (g/s)	SOV (g/s)	Direzione sbocco
E1	28000	Ambiente	1.400E-02	3.500E-02	0.000E+00	Orizzontale
E2	9000	Ambiente	4.500E-03	1.125E-02	0.000E+00	Orizzontale
E5	20000	Ambiente	1.000E-02	2.500E-02	2.778E-01	Orizzontale
E6	6000	80	0.000E+00	0.000E+00	8.333E-02	Orizzontale

6.3 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 – o più in generale delle strutture opache al vento - 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 (come mostrato nelle precedenti Figura 19 e Figura 20), quindi i loro parametri sono stati utilizzati in input al processore BPIP (Building Profile Input Program). L'output di BPIP è stato utilizzato in CALPUFF per descrivere gli edifici.

7 Simulazioni di dispersione atmosferica

7.1 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 output di 8x8 km² con nodi di calcolo distanziati di 100 m (quadrato verde in Figura 21). La coordinata UTM32T dell'angolo in basso a sinistra di tale dominio è E=639250 m, N=4932750 m. Oltre ai punti di calcolo su griglia regolare è stato considerato un recettore sensibile posizionato in corrispondenza alla scuola d'infanzia posta a circa 250 m a sud dalle sorgenti (cerchio giallo in Figura 21). Le coordinate metriche UTM32T del recettore sensibile sono E= 643068 m, N= 4936179 m.

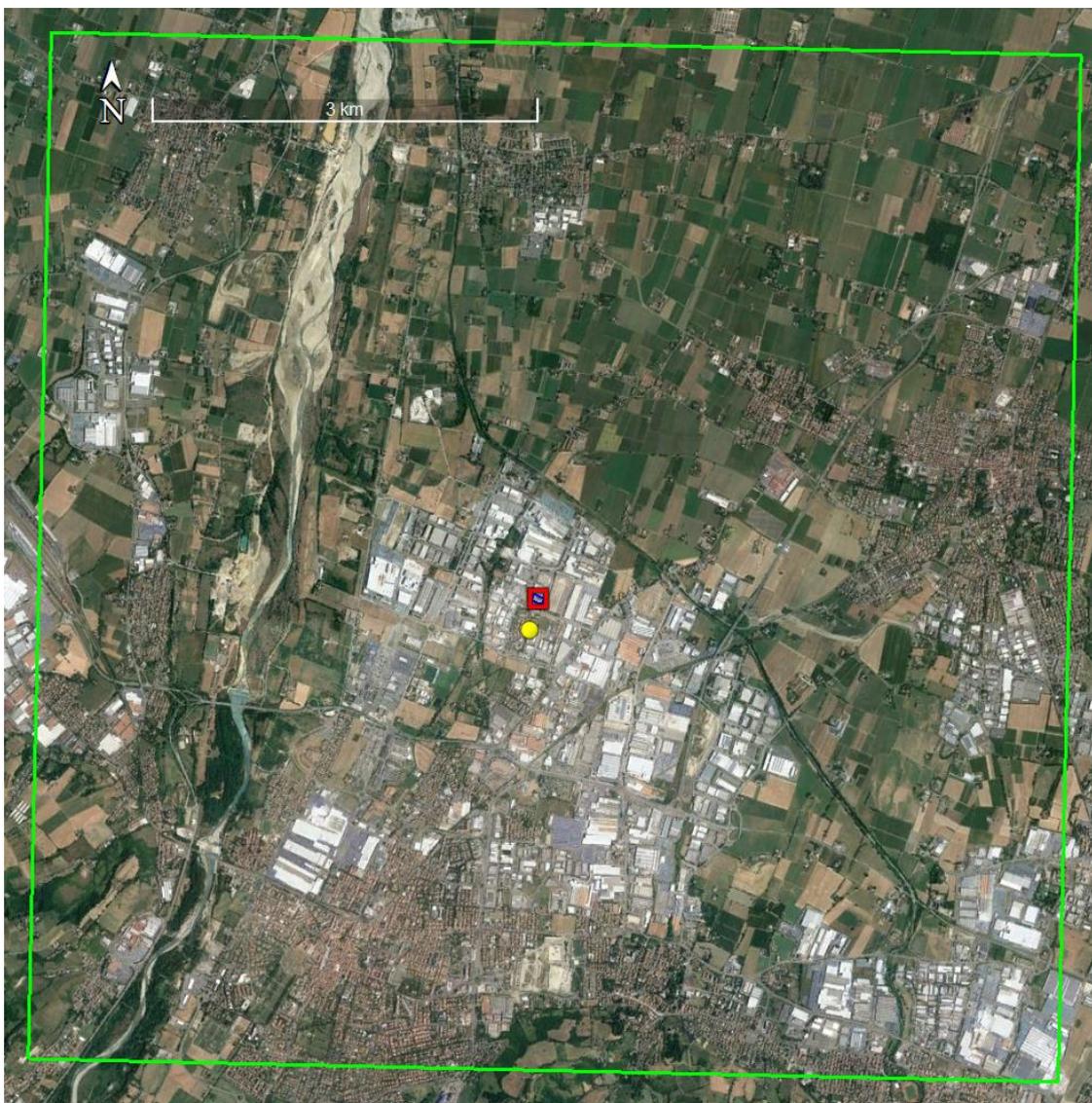


Figura 21. Dominio di output di CALPUFF (quadrato verde), posizione dello stabilimento (quadrato rosso) e posizione del recettore sensibile (cerchio giallo).

7.2 Risultati

I valori massimi di concentrazione predetti per gli inquinanti sul dominio di calcolo all'esterno del perimetro di impianto sono riportati in Tabella 7. La stessa tabella indica le coordinate del punto in cui viene determinato il valore massimo, il valore di riferimento e, tra parentesi, la percentuale del valore massimo predetto rispetto al riferimento. I risultati mostrano superamenti sul dominio del valore di riferimento per HCl in entrambi gli scenari e per SOV nello scenario PO (tale inquinante non viene emesso nello scenario AO). I valori massimi all'esterno del perimetro di impianto sono predetti sempre nello stesso punto (E=643150 m, N=4936450 m) situato a meno di 15 m in

direzione nord dal perimetro di impianto (cerchio rosso in Figura 22), quindi sempre in area industriale.

I valori massimi predetti al recettore sensibile considerato sono invece riportati in Tabella 8. Presso tale recettore la massima concentrazione media di 24 ore di HF passa da 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nello scenario AO a 0.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nello scenario PO. Per HCl invece la massima media di 24 ore passa da 1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nello scenario AO a 1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nello scenario PO. La massima media di 3 ore di SOV nello scenario PO vale 34.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Inoltre, se in via cautelativa si ipotizzasse che i SOV fossero costituiti interamente da benzene – normato dal D.Lgs. 155/2010 con un limite di 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media annuale – si otterrebbe una media annuale di 1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ presso il recettore sensibile. I valori predetti al recettore sensibile sono quindi sempre inferiori rispetto ai riferimenti considerati, inoltre l'incremento dei valori di HF e HCl nel passaggio da AO a PO è sempre piccolo (0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Le mappe di concentrazione degli inquinanti sono mostrate da Figura 23 a Figura 27. I valori massimi vengono predetti sopra lo stabilimento o immediatamente al suo esterno.

Tabella 7. Valori massimi predetti all'esterno dello stabilimento.

Scenario	Inquinante	Parametro	E (m)	N (m)	Valore ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rif. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
AO	HF	Max 24h	643150	4936450	3.8	14 (27.0%)
PO	HF	Max 24h	643150	4936450	7.3	14 (52.3%)
AO	HCl	Max 24h	643150	4936450	9.5	9 (105.1)
PO	HCl	Max 24h	643150	4936450	18.3	9 (203.6%)
AO	SOV	Max 3h	-	-	-	-
PO	SOV	Max 3h	643150	4936450	260.9	200 (130.5%)

Tabella 8. Valori massimi predetti al recettore sensibile.

Scenario	Inquinante	Parametro	Valore ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rif. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
AO	HF	Max 24h	0.5	14 (3.8%)
PO	HF	Max 24h	0.6	14 (4.0%)
AO	HCL	Max 24h	1.3	9 (14.7)
PO	HCl	Max 24h	1.4	9 (15.7%)
AO	SOV	Max 3h	-	-
PO	SOV	Max 3h	34.8	200 (17.4%)

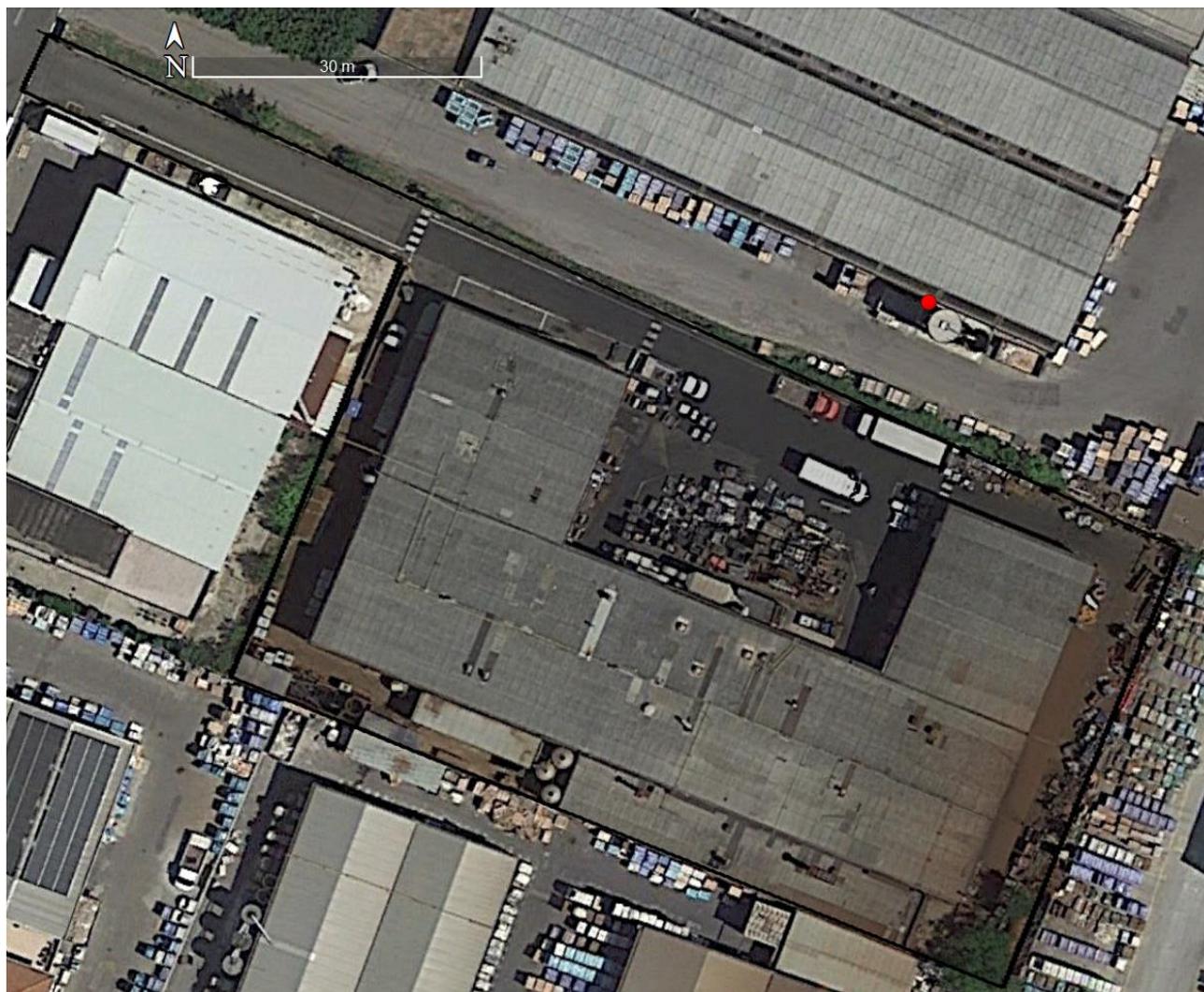


Figura 22. Posizione dei valori massimi (cerchio rosso).



Figura 23. Isolivelli di concentrazione della media di 24 ore di HF. Scenario Ante Operam.



Figura 24. Isolivelli di concentrazione della media di 24 ore di HF. Scenario Post Operam.



Figura 25. Isolivelli di concentrazione della media di 24 ore di HCl. Scenario Ante Operam.

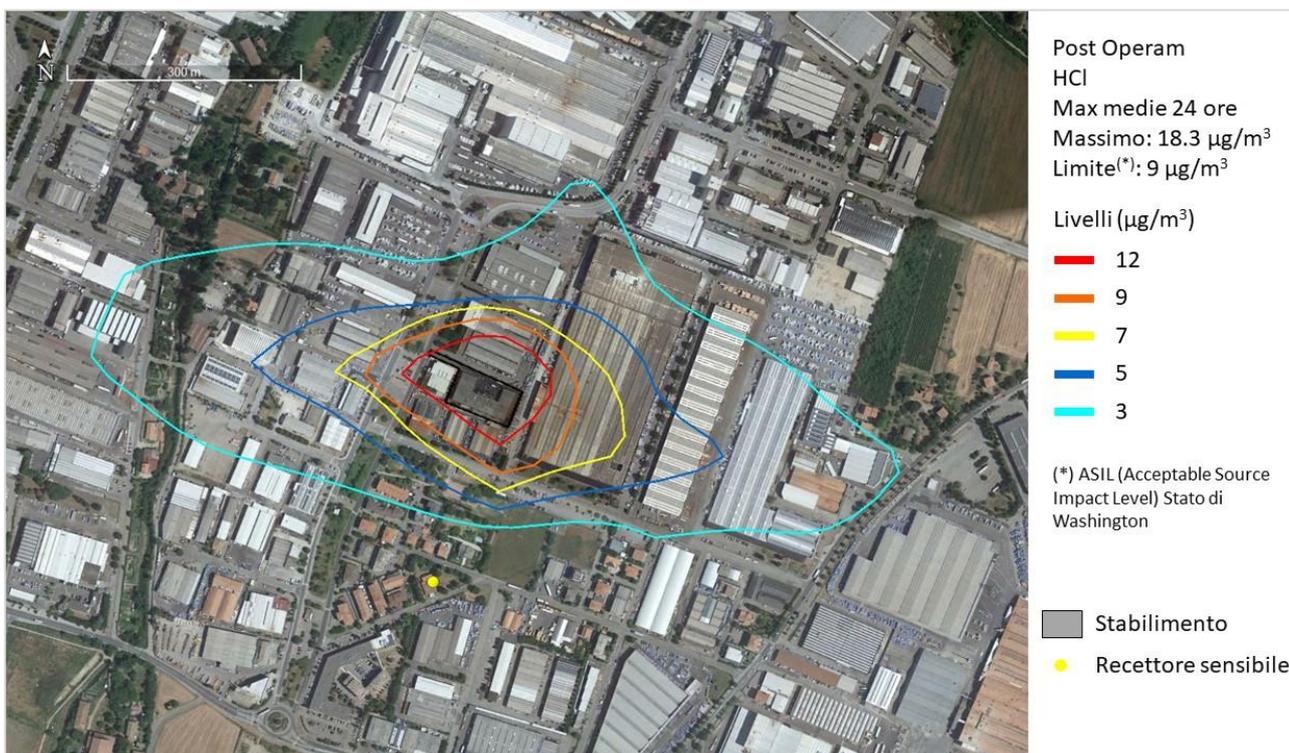


Figura 26. Isolivelli di concentrazione della media di 24 ore di HCl. Scenario Post Operam.

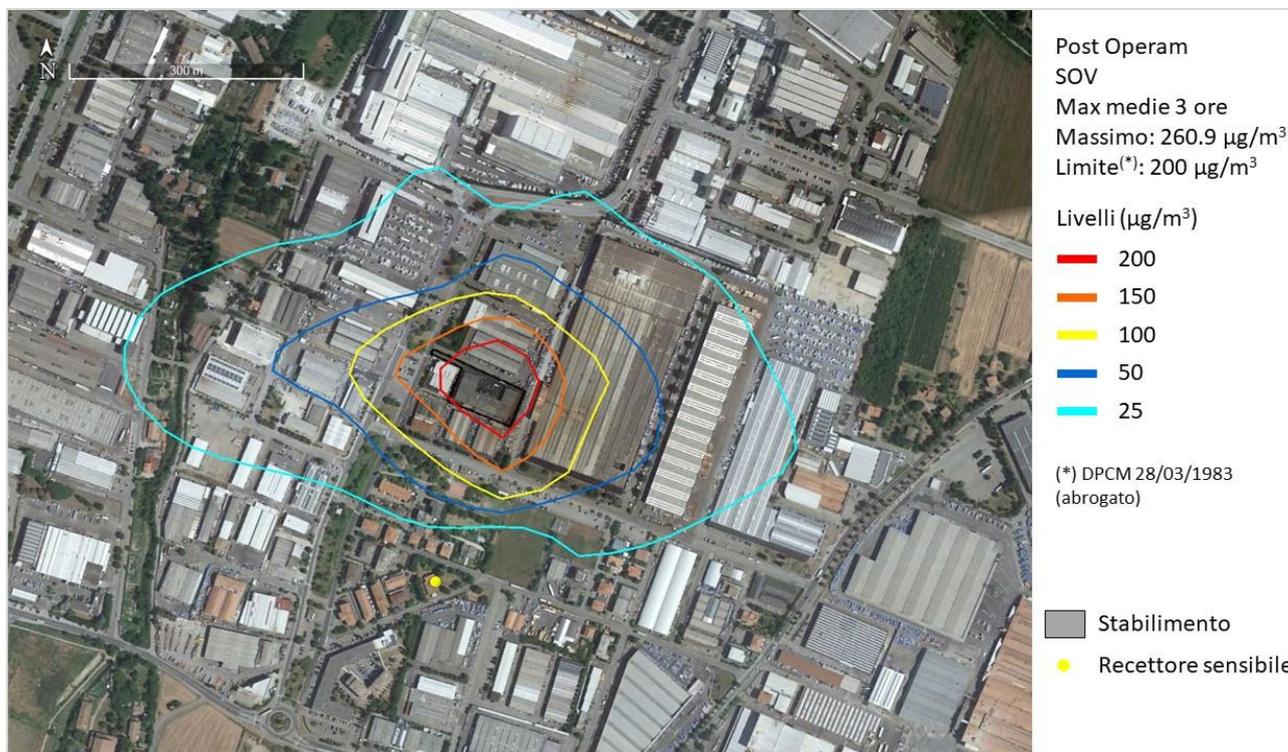


Figura 27. Isolivelli di concentrazione della media di 3 ore di SOV. Scenario Post Operam.

8 Conclusioni

Questo studio descrive l'impatto delle emissioni in atmosfera dello stabilimento Zincosider di Sassuolo (MO) sull'ambiente circostante. Nello specifico, sono state valutate le emissioni in atmosfera di acido fluoridrico e ione fluoro (come HF), acido cloridrico e ione cloro (come HCl) e SOV (come carbonio organico totale) dovute al funzionamento dello stabilimento che si occupa di trattamento superficiale di pezzi in materiale ferroso conto terzi.

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 2021 è stato ricostruito per mezzo del modello meteorologico diagnostico CALMET utilizzando in input l'output del modello meteorologico a mesoscala WRF.

Le simulazioni di dispersione degli inquinanti emessi dallo stabilimento sono state condotte con dettaglio orario su tutte le ore dell'anno 2021, sia per lo scenario emissivo Ante Operam, sia per lo scenario emissivo Post Operam. Per i tre inquinanti emessi dall'impianto non esistono valori limite stabiliti dalla normativa nazionale, pertanto, per avere dei valori con cui confrontare le concentrazioni calcolate, si è fatto riferimento al DPCM 28/03/1983 (ora abrogato) per la totalità dei SOV 8emessi solo nello scenario Post Operam), e agli ASIL (Acceptable Source Impact Level) definiti dallo Stato di Washington (USA) per HF e HCl.

Considerando l'intero dominio di simulazione all'esterno del perimetro di impianto, i massimi valori di concentrazione vengono sempre predetti a circa 15 m a nord di tale perimetro. Le mappe di concentrazione indicano infatti che i valori maggiori sono predetti sopra lo stabilimento o immediatamente al suo esterno.

Presso il recettore sensibile (asilo d'infanzia) localizzato a circa 250 m a sud dal perimetro dello stabilimento i valori di riferimento non vengono mai superati e, per HF e HCL, rimangono simili in entrambi gli scenari (i SOV sono emessi solo nello scenario PO). Al recettore sensibile i valori di HF si attestano a circa il 4% del riferimento, quelli di HCl a circa il 15%, e quelli di SOV a circa il 17%. La variazione della massima concentrazione media di 24 ore nel passaggio dallo scenario AO allo scenario PO vale $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sia per HCl, sia per HF. Tale incremento corrisponde a circa lo 0.7% del valore di riferimento di HF (ASIL $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e all'1.1% del valore di riferimento di HCl (ASIL $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

9 Riferimenti

- ANPA (2000) I modelli nella valutazione della qualità dell'aria. RTI CTN_ACE 2/2000.
- Bellasio R., G.Maffeis, 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>
- 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.
- 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.
- 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.