



Regione Abruzzo



Provincia di Chieti



Comune di Lanciano

Progetto per la realizzazione di una Piattaforma Tecnologica per la Generazione e il Recupero di Energia da Combustibili Alternativi

Agosto 2015

PROCEDURA VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE (V.I.A)

ai sensi del D.Lgs. 152/06 e smi

VALUTAZIONE IMPATTO AMBIENTALE DELLE EMISSIONI IN ATMOSFERA

Proponente: Camillo Marcantonio s.a.s. di Camillo e Nicola Marcantonio

C.so Marcantonio n.2 66030 Mozzagrogna (CH), P.I. 02053370694

Località: Brecciaio- Colle Campitelli- Comune di Lanciano (CH)

Studio a cura di: Università degli studi di Udine





DCFA-UNIUD

DIPARTIMENTO DI CHIMICA, FISICA E AMBIENTE – UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE

Rapporto Tecnico per SmarTeam s.r.l.

SVILUPPO DI UN MODELLO DI DISPERSIONE
INQUINANTI PER LA VALUTAZIONE DI IMPATTO
AMBIENTALE PER IMPIANTO DI CONVERSIONE
ENERGETICA DI COMBUSTIBILI SOLIDI
SECONDARI (CSS)

N. Pettarin, M. Campolo

Udine, 20 Luglio 2015
RT 02-15-v1

Sommario

SmarTeam s.r.l. sta curando per la Ditta Camillo Marcantonio s.a.s. la fornitura di una piattaforma innovativa per la generazione e il recupero di energia da combustibili alternativi da installare in Contrada Brecciaio, 31, Sant'Eusanio del Sangro, provincia di Chieti.

L'impianto è stato progettato per recuperare energia da combustibile solido secondario (CSS) e produrre energia elettrica. Il processo alla base del recupero energetico da combustibile solido secondario si basa sulla pirolisi del CSS, attivata per effetto Joule in un sistema di caricamento a coclea. La possibilità di controllare il profilo termico del combustibile e i tempi di permanenza dello stesso in camera di combustione in funzione della tipologia di materiale da termovalorizzare permettono di garantire un'ottimale recupero energetico e basse emissioni inquinanti.

Ai fini autorizzativi l'impianto è soggetto alle prescrizioni dettate dall'art. 15 del DLgs 46/2014 (Modifiche al Titolo III della Parte Quarta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni).

A monte della fornitura, si è deciso di predisporre uno studio di valutazione di impatto finalizzato a quantificare le possibili ricadute sul territorio circostante delle emissioni derivanti dal funzionamento a regime dell'impianto.

Per la realizzazione dello studio, SmarTeam s.r.l. ha contattato l'Università degli Studi di Udine che ha già realizzato studi di dispersione di inquinanti per la valutazione d'impatto ambientale per aziende insediate nel territorio del Friuli Venezia Giulia.

In questo rapporto tecnico vengono descritti i dati acquisiti e gli strumenti utilizzati per la realizzazione dello studio di valutazione d'impatto e ne vengono presentati i risultati. Il modello di dispersione indica che, sulla base dei dati di emissione forniti da SmarTeam s.r.l. per il camino dell'impianto relative a polveri, ossidi di carbonio e di azoto, la variazione attesa del livello di qualità dell'aria nella zona della Val di Sangro non è significativa.

Le ricadute attese per polveri totali e ossidi di carbonio risultano essere ben al di sotto dei valori limite di legge. Le ricadute attese per gli ossidi di azoto risultano essere del tutto accettabili su base annua. Il valore massimo orario risulta prossimo al limite di legge solo in una zona circoscritta ad uso agricolo situata $\simeq 1200$ m a Nord rispetto dell'impianto. Questo suggerisce che, limitatamente a questa zona, potranno registrarsi al più minimi sforamenti su base oraria nei periodi in cui la concentrazione di fondo fosse già significativa.

La valutazione delle ricadute attese in corrispondenza dei recettori sensibili (impianto, casa isolata a 200 m dall'impianto, insediamenti urbani di Tori, Brecciaio, Piana La Fara e Sant'Onofrio, specchio d'acqua artificiale in prossimità dell'impianto) e al confine più prossimo all'impianto dei due Siti di Interesse Comunitario conferma che l'attivazione dell'impianto non produrrà variazioni significative del livello di qualità dell'aria.

Indice

1	Introduzione	1
2	Sviluppo di un modello per la valutazione delle ricadute di impianto per la conversione energetica di CSS	3
2.1	Descrizione del sito di studio	3
2.2	Descrizione dell'impianto	5
2.3	Scelta del modello	6
2.3.1	Screen3	7
2.3.2	EPA recommended model: Calpuff	7
3	Implementazione dei modelli	17
3.1	Caratterizzazione orografica del sito	17
3.2	Scenario meteorologico	17
3.2.1	Identificazione dell'annualità di riferimento	19
3.2.2	Analisi del regime anemometrico (dati di superficie)	20
3.2.3	Analisi del regime anemometrico (sito impianto)	22
3.3	Identificazione dell'altezza del camino	24
4	Risultati	30
4.1	Analisi della dispersione	30
4.1.1	Polveri totali	30
4.1.2	Ossido di carbonio	33
4.1.3	Ossidi di azoto	37
4.2	Ricaduta in corrispondenza dei recettori sensibili	38
5	Conclusioni	43

Elenco delle figure

1	Area di studio: in verde è delimitato il quadrato di dimensione $10 \times 10 \text{ km}$ centrato sulla zona dell'impianto (in rosso).	3
2	Vista aerea dell'area di studio.	4
3	Collocazione ed estensione dei SIC di interesse rispetto all'area di studio. La posizione dell'impianto è indicata in rosso.	4
4	Dettaglio dell'area di studio: area d'impianto (in giallo), punto emissivo (in rosso), siti sensibili (SIC, in verde chiaro, recettori sensibili in verde).	5
5	Layout dell'impianto: la regione quadrettata in verde identifica la linea di pre-trattamento del CSS, l'area blu identifica il pirogassificatore, le campiture di colore diverso identificano le aree di stoccaggio materie prime. Le aree tratteggiate in nero e giallo identificano le aree di stoccaggio dei prodotti secondari della pirolisi (char e synoil).	6
6	Schema di funzionamento del modello Calpuff.	8
7	Dispersione di un pennacchio simulato come somma di emissioni discrete nel caso di (a) campo di moto stazionario, (b) campo di moto tempo dipendente.	12
8	Organizzazione dei file di input per il modello di dispersione.	16
9	Vista tridimensionale dell'orografia del sito. L'altezza del terreno s.l.m. è compresa tra $39 \div 366 \text{ m}$.	18
10	Mappa delle categorie di utilizzo di uso del suolo: zona urbana/industriale in nero (categoria 10) e area agricola in verde (categoria 20).	18
11	Rete agrometeorologica ARSSA.	19
12	Mappa con localizzazione delle stazioni meteo di Pescara (stazione di superficie) e Brindisi (stazione per radiosondaggi) rispetto all'area d'impianto (punto rosso).	20
13	Confronto tra le rose dei venti e le distribuzioni di frequenza delle classi di vento calcolate per gli anni 2013 e 2014.	22
14	Rose dei venti stagionali calcolate per l'anno 2014 in corrispondenza della stazione meteo di superficie di Pescara.	23
15	Rose dei venti giornaliere calcolate per l'anno 2014 in corrispondenza della stazione meteo di superficie di Pescara.	24
16	Rosa dei venti calcolata da Calmet in corrispondenza dell'impianto.	25
17	Rose dei venti stagionali calcolate per l'anno 2014 in corrispondenza dell'impianto.	26
18	Rose dei venti giornaliere calcolate per l'anno 2014 in corrispondenza dell'impianto.	28
19	Profilo di concentrazione al suolo a distanza progressivamente crescente dal punto emissivo: emissione di CO da camino alto 15 m (a) e 18 m (b). Ogni curva corrisponde ad una diversa classe di stabilità.	29
20	Confronto dei profilo di concentrazione al suolo a distanza progressivamente crescente dal punto emissivo per classe di stabilità C: emissione di CO da camino alto 15 m (curva rossa) e 18 m (curva blu).	29
21	Concentrazione al suolo di polveri: valore medio annuo. Le concentrazioni sono espresse in $\mu g/m^3$. I valori calcolati appartengono all'intervallo $[0.00066 \div 0.03193 \mu g/m^3]$ (al netto del valore di concentrazione di fondo). Il limite di riferimento per la concentrazione di polveri su base annua è pari a $40 \mu g/m^3$. Anche considerando il valor medio del fondo ($27 \mu g/m^3$), sulla base dei risultati ottenuti il limite non risulta mai superato.	31
22	Concentrazione al suolo di polveri: valore massimo della concentrazione valutato su base giornaliera. Le concentrazioni sono espresse in $\mu g/m^3$. I valori calcolati appartengono all'intervallo $[0.001838 \div 0.2577 \mu g/m^3]$ (al netto del valore di concentrazione di fondo). Il limite di riferimento per la concentrazione di polveri valutata su base giornaliera è pari a $50 \mu g/m^3$. Anche considerando il valor medio del fondo ($27 \mu g/m^3$), il limite di legge non risulta mai superato.	32
23	Concentrazione al suolo di CO : valore medio annuo. Le concentrazioni sono espresse in mg/m^3 . I valori calcolati appartengono all'intervallo $[0.0000011 \div 0.0006385 mg/m^3]$ (al netto del valore di concentrazione di fondo). Non esiste limite di riferimento per la concentrazione di ossido di carbonio valutata come media annua.	33

24	Concentrazione al suolo di CO : valore massimo delle concentrazioni valutate su base oraria. Le concentrazioni sono espresse in mg/m^3 . I valori calcolati appartengono all'intervallo $[0.000587 \div 0.05493 \text{ } mg/m^3]$ (al netto del valore di concentrazione di fondo). Non esiste un limite di riferimento per la concentrazione oraria di ossido di carbonio.	34
25	Concentrazione al suolo di CO : valore massimo della concentrazione valutata come media sul periodo di 8 ore. Le concentrazioni sono espresse in mg/m^3 . I valori calcolati appartengono all'intervallo $[0.00007 \div 0.01212 \text{ } mg/m^3]$ (al netto del valore di concentrazione di fondo). Il limite di riferimento per la concentrazione di ossido di carbonio valutata su 8 ore, pari a $10 \text{ } mg/m^3$, non viene mai superato.	35
26	Concentrazione al suolo di CO : valore massimo della concentrazione valutata come media sul giorno. Le concentrazioni sono espresse in mg/m^3 . I valori calcolati appartengono all'intervallo $[0.000036 \div 0.005153 \text{ } mg/m^3]$ (al netto del valore di fondo). Non esiste limite di riferimento per la concentrazione giornaliera di ossido di carbonio.	36
27	Concentrazione al suolo di NO_x : valore medio annuo. Le concentrazioni sono espresse in $\mu g/m^3$. I valori calcolati appartengono all'intervallo $[0.004668 \div 2.235 \text{ } \mu g/m^3]$ (al netto del valore di fondo). Il limite di riferimento per la concentrazione di NO_x valutata come media annua, è pari a $40 \text{ } \mu g/m^3$. Anche considerando il valor medio del fondo ($25 \text{ } \mu g/m^3$), il limite di riferimento non risulta mai superato.	37
28	Concentrazione al suolo di NO_x : valore massimo delle concentrazioni valutate su base oraria. Le concentrazioni sono espresse in $\mu g/m^3$. I valori calcolati appartengono all'intervallo $[1.356 \div 192.3 \text{ } \mu g/m^3]$ (al netto del valore del fondo, mediamente pari a $25 \text{ } \mu g/m^3$). Il limite di riferimento per la concentrazione di ossidi di azoto valutata su base oraria, pari a $200 \text{ } \mu g/m^3$, potrebbe risultare superato in almeno un'ora nell'anno nella zona 1.2 km a nord dell'impianto.	38
29	Forma del boxplot utilizzato per sintetizzare graficamente le caratteristiche della serie temporale di concentrazione in corrispondenza dei recettori sensibili: il segmento orizzontale al centro del box identifica la mediana, i lati superiore e inferiore del box i quantili 75-esimo e 25-esimo; i segmenti verticali sopra e sotto l'intervallo di variazione dei dati (80% centrale). Il punto rappresenta il valore medio della serie.	39
30	Variazione della qualità dell'aria attesa a seguito dell'attivazione dell'impianto: distribuzione statistica della concentrazione di polveri al suolo in corrispondenza dei SIC e dei recettori sensibili. Il limite di riferimento per la concentrazione di polveri su base annua è pari a $40 \text{ } \mu g/m^3$	40
31	Variazione della qualità dell'aria attesa a seguito dell'attivazione del nuovo impianto: distribuzione statistica della concentrazione di ossido di carbonio al suolo in corrispondenza dei SIC e dei recettori sensibili. Il limite di riferimento per la concentrazione di ossido di carbonio (media su 8 ore) è pari a $10 \text{ } mg/m^3$	41
32	Variazione della qualità dell'aria attesa a seguito dell'attivazione del nuovo impianto: distribuzione statistica della concentrazione di ossidi di azoto al suolo in corrispondenza dei SIC e dei recettori sensibili. Il limite di riferimento per la concentrazione di ossidi di azoto su base oraria è pari a $200 \text{ } \mu g/m^3$	41

Elenco delle tabelle

1	Dati di emissione dell'impianto.	6
2	Localizzazione del centro del dominio, dei punti estremi e delle stazioni di misura per le quali sono stati acquisiti dati meteo di superficie e quota.	17
3	Distribuzione di frequenza congiunta di intensità e direzione del vento per la stazione di Pescara, anno 2013. Le calme di vento rappresentano il 2.02% dei dati orari sull'anno.	21
4	Distribuzione di frequenza congiunta di intensità e direzione del vento per la stazione di Pescara, anno 2014. Le calme di vento rappresentano il 5.72% dei dati orari sull'anno.	21
5	Distribuzione di frequenza congiunta di intensità e direzione del vento in corrispondenza dell'impianto. Le calme di vento rappresentano il 13.7% dei dati.	27
6	Distanza sottovento ed entità del massimo di ricaduta calcolato da Screen3 per le diverse classi di stabilità atmosferica e per le due altezze di camino. In grassetto la condizione di ricaduta a distanza minima e con massima concentrazione.	27
7	Limiti di legge per la concentrazione di inquinanti nell'ambiente.	30
8	Statistiche relative alla concentrazione di polveri calcolate in corrispondenza dei SIC e dei recettori sensibili R0-R6. I valori sono espressi in $[\mu g/m^3]$ ($[\mu g/m^3]^2$ per la varianza) e vanno moltiplicati per il fattore indicato in riga 2.	40
9	Statistiche relative alla concentrazione di ossido di carbonio calcolate in corrispondenza dei SIC e dei recettori sensibili R0-R6. I valori sono espressi in $[mg/m^3]$ ($[mg/m^3]^2$ per la varianza) e vanno moltiplicati per il fattore indicato in riga 2.	41
10	Statistiche relative alla concentrazione di ossido di azoto calcolate in corrispondenza dei SIC e dei recettori sensibili R0-R6. I valori sono espressi in $[\mu g/m^3]$ ($[\mu g/m^3]^2$ per la varianza) e vanno moltiplicati per il fattore indicato in riga 2.	42

1 Introduzione

La produzione annua di rifiuti urbani (RU) in Italia ammonta ad oltre 32 milioni di tonnellate (rapporto Nomisma Energia s.r.l., 2011). Per la gestione sostenibile di questa enorme quantità di rifiuti è necessario ridurre drasticamente i quantitativi di RU avviati in discarica, incrementando parallelamente il recupero di materia ed energia al pari di quanto avviene in altri Paesi europei come Austria, Germania, Olanda e Svezia. In questi Paesi la gestione del rifiuto urbano si realizza attraverso un elevato livello di raccolta differenziata che permette da un lato un efficace recupero di materia prima attraverso il riuso, il riciclo e il compostaggio e dall'altro un alto tasso di recupero energetico (fino al 40-50%).

Un importante contributo per conseguire questi obiettivi è legato alla produzione e all'utilizzo di Combustibili Solidi Secondari (CSS) ottenuti dai rifiuti urbani (RU), che possono essere opportunamente utilizzati come combustibile alternativo ai combustibili fossili sia negli impianti di combustione esistenti sia in impianti di termovalorizzazione di nuova generazione.

La sostenibilità economica, energetica e ambientale dell'utilizzo di CSS è stata ampiamente discussa nella letteratura tecnico-scientifica (Laird et al., 2009; Al-Salem et al., 2009): i principali benefici attesi a livello economico sono significativi risparmi sui costi di gestione dei rifiuti e una maggiore indipendenza energetica; dal punto di vista ambientale, i benefici attesi sono la riduzione del consumo di risorse naturali e di materie prime, le minori emissioni associate ad una combustione che avviene a diretto contatto con le materie prime ed una riduzione delle emissioni complessive di CO_2 .

Il 26 Marzo 2014 la Regione Abruzzo ha firmato un protocollo d'intesa con il Consorzio Ecocarbon per l'uso sostenibile del combustibile solido secondario. Per la Regione Abruzzo si stima (Rapporto Nomisma Energia s.r.l., 2011) una potenzialità di utilizzo di CSS nell'industria pari a $30,000 \div 50,000$ tonnellate/anno a fronte di una produzione autorizzata di CSS che nel 2011 era pari a zero.

La realizzazione della Piattaforma Innovativa per la Generazione e il Recupero di Energia da Combustibili Alternativi in Contrada Brecciaio, Sant'Eusanio del Sangro, Lanciano (CH) si colloca in questo contesto.

Il combustibile utilizzato in impianto sarà in parte CSS (combustibile solido secondario) di fornitura esterna e in parte CSS prodotto in situ. Attraverso un processo di pirolisi in atmosfera controllata (azoto) attivato per effetto Joule in un sistema di caricamento a coclea, sarà possibile trattare il CSS per ottenere syngas e char. Il syngas verrà quindi utilizzato in caldaia per la produzione di vapore che, espanso in turbina, permetterà di produrre energia elettrica. Il preciso controllo del profilo termico del prodotto e dei tempi di permanenza del CSS nel pirolizzatore in funzione della tipologia di materiale da termovalorizzare, permetteranno di garantire un'ottimale recupero energetico e basse emissioni inquinanti.

Ai fini autorizzativi l'impianto è soggetto alle prescrizioni dettate dall'art. 15 del DLgs 46/2014 (Modifiche al Titolo III della Parte Quarta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni). Restano esclusi dall'ambito di applicazione della disciplina in oggetto (art. 237ter, comma 2) gli impianti di gassificazione o di pirolisi, se i gas prodotti da siffatto trattamento termico dei rifiuti sono purificati in misura tale da non costituire più rifiuti prima del loro incenerimento e da poter provocare emissioni non superiori a quelle derivanti dalla combustione di gas naturale. A monte della fornitura dell'impianto si è deciso di predisporre comunque uno studio di valutazione di impatto, finalizzato a quantificare le possibili ricadute sul territorio circostante delle emissioni derivanti dal funzionamento a regime dell'impianto.

Gli obiettivi dello studio sono due:

1. identificare un valore di altezza del camino di emissione idonea a minimizzare la ricaduta in prossimità dell'impianto;
2. quantificare la ricaduta di inquinanti attesa nel territorio circostante in condizioni di funzionamento a regime.

In questo rapporto tecnico vengono descritti gli strumenti e metodi utilizzati per la realizzazione dello studio, vengono descritti ed analizzati i diversi tipi di dati necessari e vengono presentati i risultati ottenuti.

Il rapporto tecnico è organizzato come segue:

- nella Sezione 2 viene presentata la localizzazione del sito e vengono descritte le caratteristiche dell'impianto che permettono di definire lo scenario emissivo; nella Sezione 2.3 vengono introdotti

i modelli utilizzati per la realizzazione dello studio, descrivendone caratteristiche e richiesta di dati di ingresso;

- nella Sezione 3 vengono descritti i dati acquisiti per la realizzazione dello studio (dati meteorologici e geografici), viene presentata l'analisi realizzata per identificare l'annualità di riferimento, e viene illustrato l'utilizzo del modello Screenview per identificare l'altezza del punto emissivo in grado di minimizzare la ricaduta in prossimità dell'impianto. Viene infine descritto l'utilizzo del modello Calmet/Calpuff per la ricostruzione dell'evoluzione del campo di vento locale e per la modellazione della dispersione degli inquinanti;
- nella Sezione 4 vengono presentati i risultati del calcolo di ricaduta attraverso la produzione di (i) mappe di ricaduta relative ai parametri di riferimento per la valutazione della qualità dell'aria (medie annue, massimi orari/su otto ore/giornalieri a seconda della specie chimica modellata) con riferimento ai limiti di legge; (ii) analisi di serie temporali in corrispondenza di recettori di particolare interesse.

2 Sviluppo di un modello per la valutazione delle ricadute di impianto per la conversione energetica di CSS

2.1 Descrizione del sito di studio

La zona di interesse per lo sviluppo del modello di dispersione degli inquinanti è localizzata in Contrada Brecciaio, Sant'Eusanio del Sangro, Lanciano (CH).

In Figura 1 è identificata la posizione dell'impianto (punto rosso) ed è delimitata una zona di estensione $10 \times 10 \text{ km}$ per la quale è stato sviluppato il modello di dispersione (linea verde).

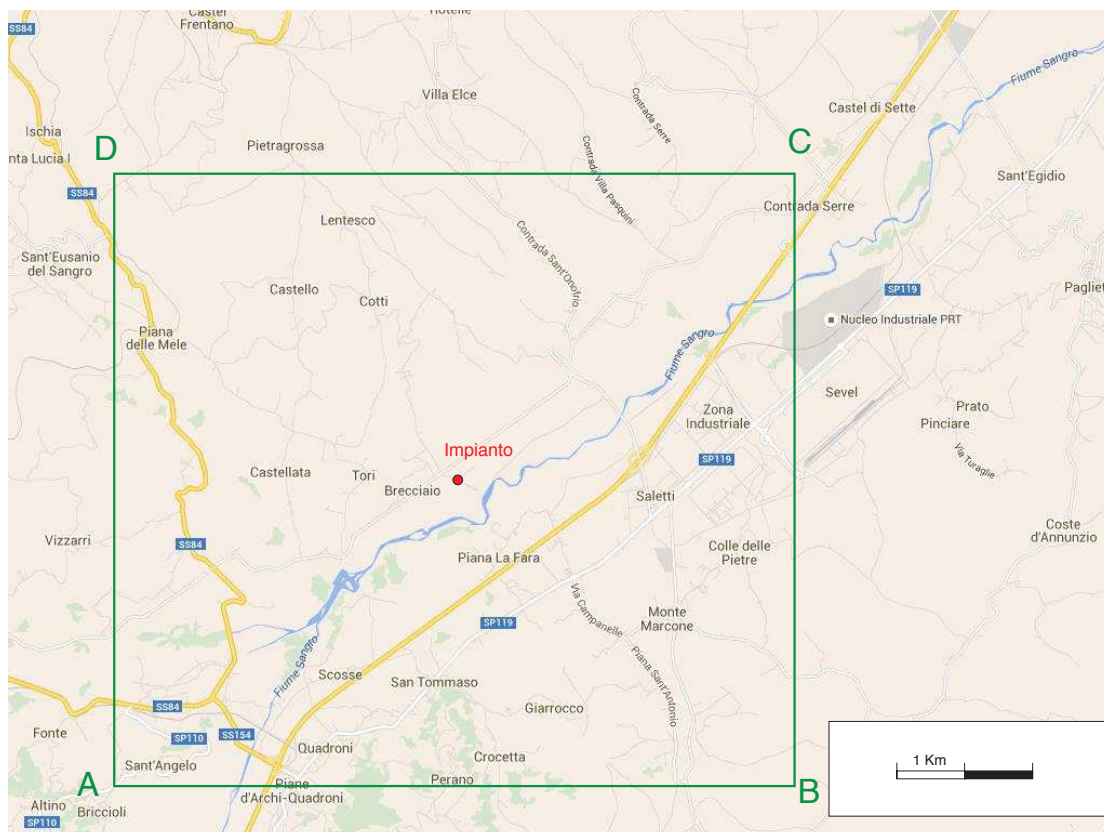


Figura 1: Area di studio: in verde è delimitato il quadrato di dimensione $10 \times 10 \text{ km}$ centrato sulla zona dell'impianto (in rosso).

La zona di studio comprende parte della zona industriale Saletti I e II, una porzione dell'alveo del fiume Sangro, gli insediamenti urbani più prossimi di Brecciaio, Sant'Onofrio, Tori e Piana la Fara e gli insediamenti urbani un po' più distanti di Castellata, San Tommaso, Giarrocco e Monte Marcone.

Il corso del fiume Sangro si estende da Sud-Ovest a Nord-Est. La viabilità principale include:

- la strada statale SS652 e la strada provinciale SP119, in direzione Sud-Ovest, Nord-Est, alla destra del fiume Sangro;
- le strade statali SS84 e SS154 in direzione Nord-Sud;

La porzione della valle di Sangro oggetto di studio è un'area di utilizzo misto agricolo e industriale (vedi Figura 10). Dalla fotografia aerea è chiaramente visibile il corso del fiume, intorno al quale si sviluppano due Siti di Interesse Comunitario (Figura 3),

- SIC 1: IT7140112 Bosco di MozzaGrogna;
- SIC 2: IT7140215 Lago di Serranella e Colline di Guarenna.

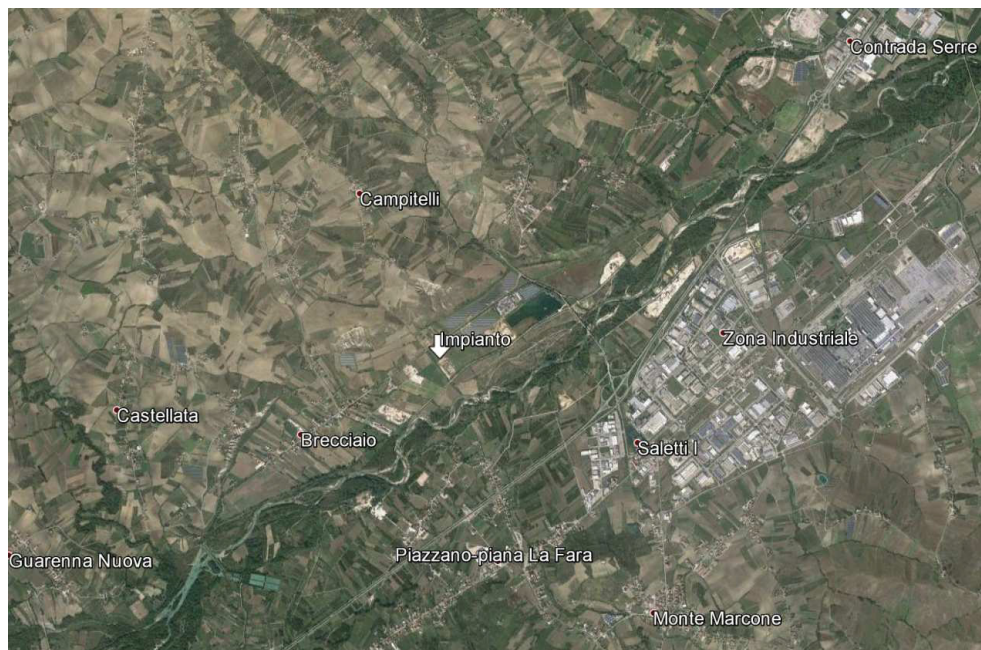


Figura 2: Vista aerea dell'area di studio.

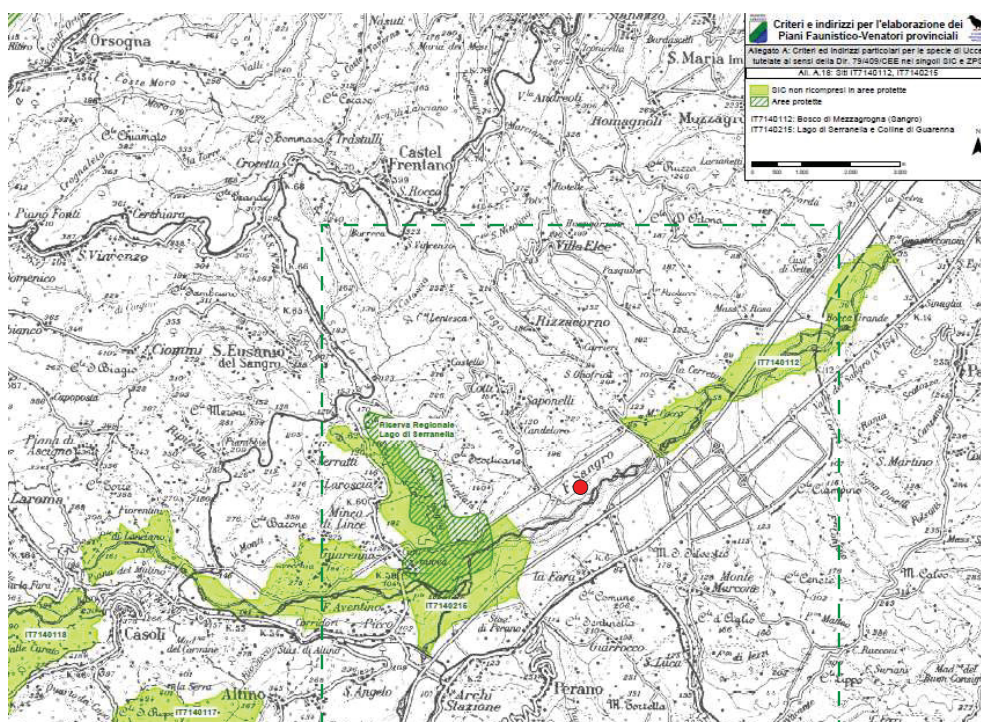


Figura 3: Collocazione ed estensione dei SIC di interesse rispetto all'area di studio. La posizione dell'impianto è indicata in rosso.

In Figura 4 è mostrato un dettaglio dell'area: sono evidenziati in giallo l'area dell'impianto, in rosso la posizione del punto emissivo (il camino dell'impianto, recettore R0) e in verde chiaro i confini dei SIC. I punti verdi identificano la posizione di alcuni recettori sensibili più prossimi all'impianto:

- R1, casa isolata, 200 m in direzione Nord;
- R2, insediamento urbano di Tori, 2100 m a Ovest-Sud-Ovest;
- R3, insediamento urbano di Brecciaio, 1500 m a Sud-Ovest;
- R4, insediamento urbano di Piana La fara, 1600 m a Sud;
- R5, insediamento urbano di Sant'Onofrio, 1600 m a Nord-Nord-Est.
- R6, specchio d'acqua artificiale in prossimità dell'impianto, 1000 m a Est-Nord-Est.



Figura 4: Dettaglio dell'area di studio: area d'impianto (in giallo), punto emissivo (in rosso), siti sensibili (SIC, in verde chiaro, recettori sensibili in verde).

2.2 Descrizione dell'impianto

L'impianto permetterà di trattare CSS attraverso un processo di pirolisi in atmosfera controllata (azoto) attivato per effetto Joule in un sistema di caricamento a coclea per ottenere syngas, synoil e char. Il syngas verrà quindi utilizzato in caldaia per la produzione di vapore che, espanso in turbina, permetterà di produrre energia elettrica.

In Figura 5 è riportato il layout dell'impianto.

L'impianto è stato dimensionato per trattare $\simeq 33,000$ tonnellate/anno di combustibile solido. Il combustibile utilizzato in impianto sarà in parte CSS ad alto potere calorifico ($PCI > 15 \text{ MJ/kg}$) pre-prodotto e disponibile in forma di fluff e in parte CSS prodotto in situ attraverso l'elaborazione di Plasmix fornito dal consorzio COREPLA. Per questo è presente in impianto una linea di pre-trattamento in cui saranno realizzate la riduzione dimensionale, la vagliatura e la separazione dei residui di PVC eventualmente presenti nel Plasmix. Il trattamento successivo è quello di pellettizzazione del CSS, attraverso il quale viene ridotto il tenore di umidità. Il CSS viene anche ricompattato in pellet di caratteristiche idonee per il successivo trattamento di pirolisi controllata. I vapori che si generano durante la fase di pellettizzazione sono convogliati ad un filtro a maniche e ad uno scrubber. Il pellet prodotto viene invece alimentato ad un silos di stoccaggio da cui può essere prelevato ed alimentato ad una coclea per essere pirolizzato, in flussaggio di azoto, a temperatura compresa tra $750 \div 850^\circ\text{C}$. Il risultato della pirolisi è la produzione di una frazione volatile (syngas), una frazione liquida (synoil) e una frazione solida (char) la cui quantità relativa è controllabile attraverso una ottimale regolazione dei parametri di processo. Il syngas (prodotto principale della pirolisi) viene alimentato ad una caldaia per la produzione di vapore, e la successiva espansione del vapore in turbina permette di produrre l'energia elettrica. Il char, composto principalmente di carbonio, e il synoil hanno un buon potere calorifico e possono essere utilizzati in processi di combustione.

La zona di impianto in cui è collocato il pirolizzatore funziona in atmosfera controllata e in depressione per evitare fuoriuscite di gas.

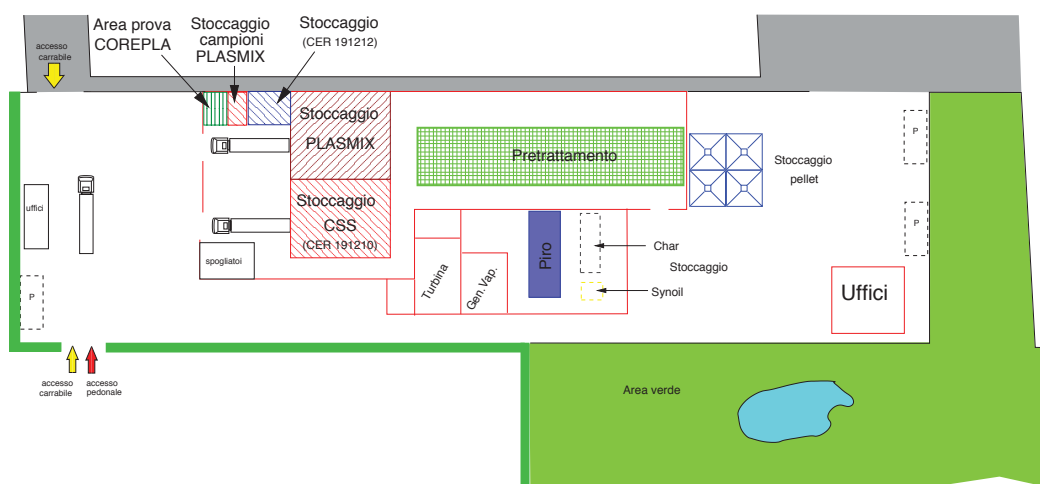


Figura 5: Layout dell'impianto: la regione quadrettata in verde identifica la linea di pre-trattamento del CSS, l'area blu identifica il pirogassificatore, le campiture di colore diverso identificano le aree di stoccaggio materie prime. Le aree tratteggiate in nero e giallo identificano le aree di stoccaggio dei prodotti secondari della pirolisi (char e synoil).

Il preciso controllo del profilo termico del prodotto e dei tempi di permanenza del CSS nel pirolizzatore in funzione della tipologia di materiale da termovalorizzare, permetteranno di garantire un'ottimale recupero energetico e basse emissioni inquinanti.

Le tipologie di emissioni attese nelle normali condizioni di funzionamento del processo sono associate alla presenza di:

- polveri;
- ossidi di azoto, NO_x ;
- ossidi di carbonio, CO .

In Tabella 1 sono riportate le caratteristiche dell'emissione attesa dall'unico camino previsto per l'impianto. I dati sono stati forniti da SmarTeam s.r.l. e tengono conto della potenzialità di trattamento di CSS dell'impianto. Per le concentrazioni delle specie inquinanti in uscita, si sono conservativamente considerati i valori di emissione indicati come limite normativo nell'allegato I, Valori di emissione e prescrizioni, alla Parte Quinta del Dlgs 152/2006. Per l'altezza del camino, è stato indicato un intervallo compreso tra $15 \div 18 \text{ m}$.

X, UTM [m]	Y, UTM [m]	D [m]
451,111	4,666,233	1.8
U , [m/s]	Q , [m^3/h]	T , [K]
4.91	45,000	443
PTS, [mg/Nm^3]	CO, [mg/Nm^3]	NO_x , [mg/Nm^3]
5	100	350

Tabella 1: Dati di emissione dell'impianto.

2.3 Scelta del modello

Per gli scopi di questo progetto, è necessario

1. identificare l'altezza più opportuna per il camino in modo da minimizzare la ricaduta di inquinanti in prossimità dell'impianto;
2. valutare le mappe di ricaduta per le specie inquinanti identificate come potenzialmente significative.

Tra i modelli di dispersione degli inquinanti di uso diffuso, sono stati identificati due diversi modelli (Deserti et al., 2004):

- Screen3, modello di screening per valutare la ricaduta al suolo nelle condizioni peggiori per la concentrazione di inquinanti emessi dal camino;
- Calpuff, modello di simulazione della dispersione idoneo per simulare la ricaduta in regime anemometrico variabile e in corrispondenza di terreni con orografia complessa.

Entrambi i modelli sono stati sviluppati dall'Environmental Protection Agency americana e sono disponibili in versione libera da Internet.

2.3.1 Screen3

Screen3 è un modello a pennacchio Gaussiano per singola sorgente, che permette di calcolare la massima concentrazione al suolo per sorgenti puntuali (camini), areali e volumetriche. Può tener conto dell'effetto di galleggiamento dei fumi emessi e della presenza di ostacoli presenti in prossimità dell'emissione.

In questo lavoro, il modello è stato utilizzato per valutare la ricaduta al suolo in prossimità dell'impianto al variare dell'altezza del camino (15 o 18 m) considerando la variabilità delle condizioni meteo. Il modello si basa sulle equazioni del pennacchio Gaussiano:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (1)$$

dove x , y e z sono le coordinate cartesiane allineate con la direzione principale del vento, trasversale e verticale, C è la concentrazione dell'inquinante [kg/m^3], Q è il rateo emissivo al camino [kg/s], U [m/s] è la velocità del vento, H è l'altezza del camino [m] e σ_y e σ_z [m] rappresentano l'allargamento del pennacchio in direzione trasversale e verticale. Questa equazione rappresenta la soluzione analitica dell'equazione del trasporto di massa per emissione continua da sorgente elevata. È derivata per condizioni di vento costanti e il valore dei coefficienti di dispersione dipende dalla natura del suolo e dalle condizioni di stabilità atmosferica (Turner, 1970). Il modello assume che l'inquinante emesso non subisca alcuna trasformazione chimico/fisica che potrebbe contribuire alla sua rimozione. In queste condizioni, la stima del valore di ricaduta è da considerarsi conservativo rispetto al caso in cui processi fisico/chimici possano contribuire alla rimozione dell'inquinante. L'equazione, valutata per $z = 0$ corrispondente al livello del suolo e per $y = 0$ asse del pennacchio, permette di stimare l'entità e la distanza della massima ricaduta al variare dell'altezza dell'emissione H e per le diverse condizioni meteo (σ_y e σ_z).

I risultati di queste analisi sono discusse nella Sezione 3.3.

2.3.2 EPA recommended model: Calpuff

Per gli scopi di questo progetto, si è scelto come modello di riferimento per valutare la dispersione degli inquinanti su scala locale il modello Calpuff, sviluppato dall'Environmental Protection Agency americana e disponibile in versione libera da Internet.

Caratteristiche del modello

Calpuff è un modello di dispersione lagrangiano a puff, non stazionario, tridimensionale in grado di simulare l'effetto della variazione temporale e spaziale delle condizioni meteorologiche sul trasporto, la trasformazione e la rimozione degli inquinanti. Calpuff può essere applicato su domini di estensione variabile tra le decine di metri e centinaia di chilometri e include algoritmi avanzati (effetti di sotto griglia, trasporto su larga scala, meccanismi per la deposizione secca ed umida). È il modello consigliato dall'Environmental Protection Agency americana per una serie di attività di pianificazione, monitoraggio e controllo della qualità dell'aria (EPA, 1993; EPA, 1995).

Il funzionamento del modello è schematicamente rappresentato in Figura 6.

Il modello è costituito da tre moduli:

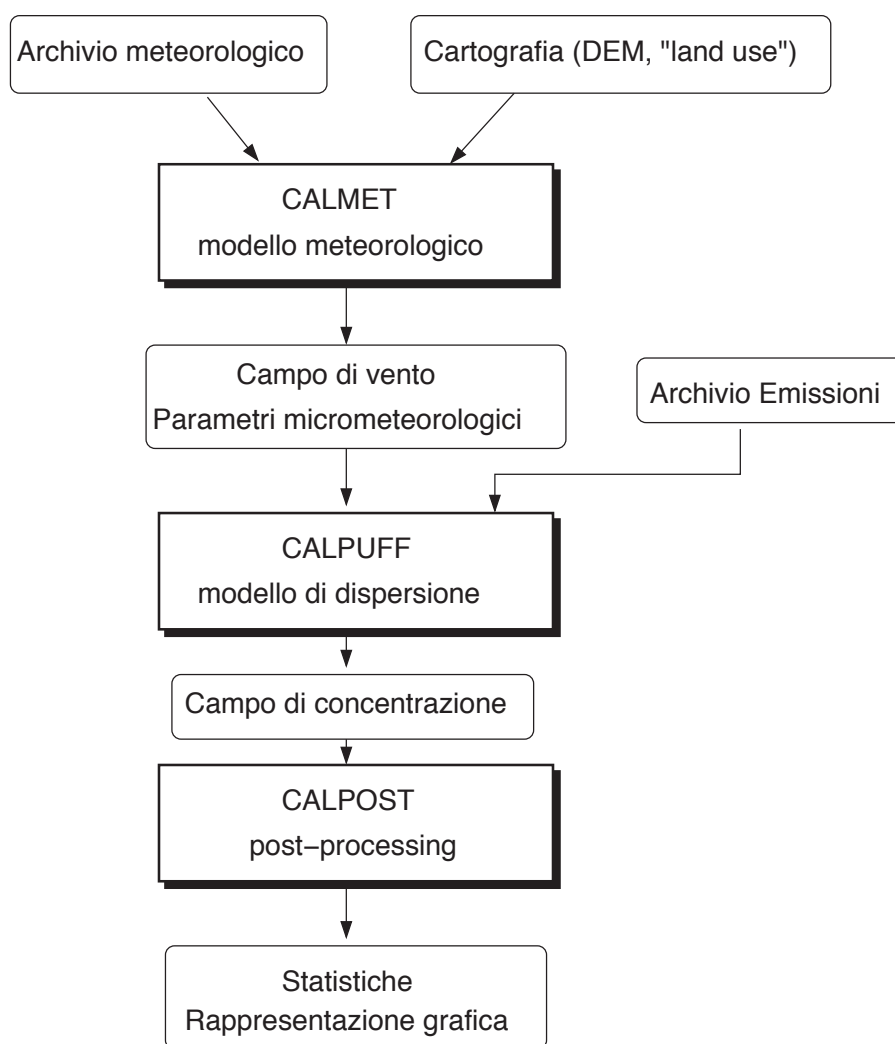


Figura 6: Schema di funzionamento del modello Calpuff.

1. un modulo meteorologico (Calmet): utilizza i dati provenienti dall'archivio meteorologico e dalla cartografia per ricostruire/calcolare il campo di vento e di dispersione per il periodo temporale di interesse;
2. un modulo di dispersione/trasporto/trasformazione (Calpuff): utilizza i dati provenienti dall'archivio delle emissioni per calcolare il campo di concentrazione;
3. un modulo di elaborazione dei dati (Calpost): utilizza i dati prodotti dal modello di dispersione per il calcolo delle statistiche utili per (i) il confronto con i dati di qualità disponibili o (ii) la valutazione del livello di qualità dell'aria.

Le caratteristiche del modello sono le seguenti:

- il modello meteorologico ricostruisce lo scenario meteo calcolando il campo di moto tridimensionale e i coefficienti di dispersione σ_x , σ_y e σ_z lungo i tre assi principali. I parametri micrometeorologici possono essere calcolati utilizzando metodi a diversa complessità in funzione degli obiettivi della simulazione e dei dati di partenza disponibili; possono essere espressi in funzione dei parametri descrittivi della turbolenza locale (altezza dello strato di mescolamento, stabilità atmosferica, velocità di attrito ed altri) o possono essere specificati da misure sperimentali.

- il modello di dispersione (lagrangiano a puff) schematizza le emissioni come una serie di pacchetti (puff) di emissione discreti rilasciati ad intervalli regolari di tempo (sampling step). La dispersione e il trasporto di ogni puff viene seguito per un periodo stabilito (basic time step); il pennacchio risultante ad ogni passo è rappresentato dalla sovrapposizione dei puff generati da tutti i pacchetti presenti nel dominio in quel dato momento;
- il modello utilizza una soluzione analitica Gaussiana (equazione del puff) per calcolare il campo di concentrazione. Per ogni puff, viene calcolato il contributo al campo di concentrazione tenendo conto delle variazioni locali nello spazio e nel tempo delle variabili di trasporto;
- il calcolo delle concentrazioni viene fatto in un numero finito di punti (recettori) definiti dall'utente;
- il modello gestisce trasformazioni chimiche semplici descritte da cinetiche del primo ordine per cinque specie chimiche (SO_2 , SO_4^{2-} , NO_x , NO_3 e HNO_3);
- il modello può tener conto di situazioni meteorologiche tempo dipendenti, comprese calme di vento, non omogeneità della dispersione, effetti locali di perturbazione del campo di moto, come innalzamento termico del pennacchio (*transitional plume rise*), effetti locali di turbolenza dovuti alla presenza di ostacoli lungo la direzione del flusso (*building downwash*), parziale penetrazione del pennacchio nello strato d'inversione (*partial plume penetration*), dispersione del pennacchio al di sotto dello strato di inversione termica (*fumigation*);
- si possono modellare sorgenti puntuali, lineari, areali e di volume, con emissione costante o variabile nel tempo (flusso di massa dell'inquinante, velocità di uscita dei fumi e temperatura tempo dipendenti);
- i dati richiesti dal modello sono: (i) numero e localizzazione delle sorgenti emissive; (ii) caratteristiche geometriche (altezza e diametro camino, larghezza e lunghezza delle strade, estensione delle sorgenti areali); (iii) temperatura e velocità di uscita dell'effluente; (iv) tipo e quantità degli inquinanti emessi, eventualmente in funzione del tempo; (v) dati meteorologici.

Il modello si colloca ad un livello intermedio di complessità rispetto ai modelli disponibili sul mercato, offrendo tutte le opzioni necessarie per ricostruire in modo realistico la dispersione anche per scenari emissivi complessi (variabilità spazio/temporale della meteorologia, effetti dell'orografia, emissioni tempo-dipendenti). Rispetto a modelli più complessi (per esempio quelli Euleriani, a griglia) Calpuff ha evidenti vantaggi in termini di:

1. semplicità della soluzione numerica;
2. tempi di calcolo contenuti (funzione del numero di recettori per cui si calcola il campo di concentrazione);
3. bassa complessità dei dati richiesti in ingresso.

Rispetto ai modelli più semplici (per esempio Gaussiani a pennacchio), Calpuff ha evidenti vantaggi in termini di:

1. miglior trattamento dei campi di vento complessi grazie a modelli avanzati per ricostruire/valutare l'effetto della variabilità spazio/temporale dei dati meteo (effetti dell'orografia, variabilità verticale del profilo di vento ed effetto differenziato sul trasporto degli inquinanti – “*puff splitting*”);
2. maggiori opzioni modellistiche per la ricostruzione dei parametri della diffusione (parametrizzazioni tipo *boundary-layer*, o classi di stabilità);
3. miglior trattamento della deposizione secca grazie all'utilizzo di una formulazione *resistance model*;
4. interfaccia utente semplificata con controllo automatico della validità dei dati di input.

Metodologia

Calcolo del campo di moto

Il modello meteorologico (Calmet) provvede a (i) generare il campo di moto sulla base dei dati meteorologici forniti e (ii) calcolare i parametri micrometeorologici.

Calmet utilizza un dominio computazionale costituito da N_z livelli verticali di una griglia di $N_x \times N_y$ celle. Per introdurre in modo semplice la possibilità di simulare terreni con orografia complessa, il codice utilizza un sistema di coordinate in cui la coordinata verticale Z viene ridefinita a partire dalla coordinata cartesiana, z , rispetto alla quota del terreno, h_t :

$$Z = z - h_t \quad (2)$$

La procedura per il calcolo del campo di moto del vento si svolge in tre passi che possono essere schematizzati come segue:

Passo 1: definizione di un campo di moto iniziale

Utilizzando dati di vento al suolo ed in quota, eventualmente anche solo in forma mediata, viene creato un campo di moto iniziale che viene modificato tenendo conto di:

- *effetti orografici e cinematici del terreno ("slope flows")*: la velocità verticale al suolo e in quota viene modificata in funzione della presenza locale di rilievi e delle condizioni di stabilità atmosferica:

$$W(z=0) = w - u \frac{\partial h_t}{\partial x} - v \frac{\partial h_t}{\partial y} \quad (3)$$

e

$$W(z) = (W(z=0) \cdot \nabla h_t) \exp(-kz) \quad (4)$$

dove:

- k termine di decadimento del profilo verticale che dipende dalla stabilità atmosferica;
- $W(z=0)$ velocità al suolo;
- $W(z)$ velocità alla generica quota z ;

- *altri effetti di bloccaggio del terreno*: la velocità del vento intorno ad un rilievo può essere modificata dal riscaldamento differenziale della base e della cima, dalla formazione di onde di gravità a valle dell'ostacolo, dal distacco di vortici a valle dell'ostacolo. Queste variazioni sono introdotte valutando l'intensità di perturbazione generata dal rilievo rispetto all'inerzia del vento utilizzando un parametro adimensionale (numero di Froude locale).

Passo 2: interpolazione delle componenti orizzontali con le misure disponibili

Per ogni punto griglia, il campo di vento creato al passo 1 viene modificato in modo da tener conto dei dati osservati nelle zone intorno ai punti in cui sono disponibili delle misure utilizzando un'interpolazione basata sull'inverso della distanza dal punto di misura:

$$(u, v)_2' = \frac{\frac{(u, v)_1}{R^2} + \sum_k \frac{(u_{obs}, v_{obs})_k}{R_k^2}}{\frac{1}{R^2} + \sum \frac{1}{R_k^2}} \quad (5)$$

dove:

- $(u, v)_1$ componenti calcolate al passo 1 nel particolare punto griglia;
- $(u_{obs}, v_{obs})_k$ componenti di vento osservate nella stazione k ;
- $(u, v)_2'$ componenti corrette al passo 2;
- R_k distanza tra il punto griglia e la stazione k ;
- R distanza entro cui viene pesato il valore di campo calcolato al passo 1.

La procedura di interpolazione è applicata ad ogni strato verticale in modo indipendente. I dati osservati al suolo possono essere estrapolati verticalmente ed essere utilizzati con peso diverso negli strati verticali. Le tecniche di estrapolazione utilizzabili per il dato osservato al suolo sono:

- Estrapolazione mediante elevamento a potenza:

$$u_i(z) = u_{i,obs} \cdot \left(\frac{z}{z_{obs}} \right)^p \quad (6)$$

dove:

z	quota a cui si estrapola la misura;
z_{obs}	quota a cui è stata effettuata la misura a terra;
$u_{i,obs}$	componente u_i misurata del vento [m/s];
$u_i(z)$	componente u_i del vento estrapolata alla quota z , [m/s];
p	esponente della legge di potenza.

- Estrapolazione usando fattori di scala definiti dall'utente:

$$u_{i,l} = u_{i,1} \cdot f(l) \quad (7)$$

dove:

i	indice di componente di velocità;
l	indice di numero di strato verticale ($l = 2, N_z$);
$u_{i,1}$	componente di velocità u_i nel primo strato;
$u_{i,l}$	componente di velocità u_i nello strato l ;
$f(l)$	fattore di scala definito dall'utente.

- Estrapolazione usando la teoria della similitudine (Van Ulden e Holtslag, 1985):

$$\frac{D(z)}{D(h)} = d_1 \left[1 - \exp \left(-\frac{d_2 z}{h} \right) \right] \quad (8)$$

dove:

$D(z)$	angolo di rotazione del vento alla quota z ;
$D(h)$	angolo di rotazione del vento alla quota di riferimento h ;
d_1, d_2	costanti empiriche.

Passo 3: minimizzazione della divergenza del campo di moto

1. *Smoothing delle velocità interpolate*: per ridurre eventuali discontinuità tra punti vicini della griglia, viene fatta una media locale dei valori adiacenti:

$$(u_{i,j})_{smooth} = 0.5u_{i,j} + 0.125[u_{i-1,j} + u_{i+1,j} + u_{i,j-1} + u_{i,j+1}] \quad (9)$$

dove:

$(u_{i,j})_{smooth}$	componente di velocità nel punto griglia (i,j) dopo lo smoothing;
$(u_{i,j})$	componente di velocità prima dello smoothing;

2. *Correzione della velocità verticale*: per imporre la conservazione della massa, le componenti di velocità orizzontali e verticale, calcolate in modo indipendente, devono essere adattate in modo da costituire un campo a divergenza nulla. Sono possibili due opzioni per questo calcolo: (i) utilizzare l'Equazione di conservazione della massa per ricalcolare la componente verticale, modificando iterativamente anche le componenti orizzontali di velocità; (ii) correggere il profilo verticale solo quando la velocità alla sommità del dominio è non nulla.

Calcolo delle variabili di dispersione micrometeorologiche

I coefficienti di dispersione dipendono dalle caratteristiche locali di turbolenza del campo di moto. La forma generale adottata da Calpuff per il calcolo dei coefficienti di dispersione è la seguente:

$$\sigma_y(t) = \sigma_v t f_y(t/T_{L,y}) \quad (10)$$

$$\sigma_z(t) = \sigma_w t f_z(t/T_{L,z}) \quad (11)$$

dove:

- σ_v deviazione standard della componente trasversale di velocità del vento, [m/s];
- σ_w deviazione standard della componente verticale di velocità del vento, [m/s];
- t tempo di volo del pennacchio dalla ciminiera al recettore;
- $T_{L,y}, T_{L,z}$ scala temporale Lagrangiana in direzione trasversale e verticale.

Calpuff mette a disposizione metodologie alternative di varia complessità per il calcolo di questi coefficienti:

1. coefficienti di dispersione calcolati dai valori misurati di turbolenza trasversale e verticale, $(\sigma_v, \sigma_w) = (\sigma_v, \sigma_w)_{obs}$;
2. coefficienti di dispersione calcolati sulla base di variabili micro meteorologiche (velocità di attrito, u^* , lunghezza di Monin-Obukov, L , altezza di mescolamento, h) calcolate dal processore meteo, $(\sigma_v, \sigma_w) = f(u^*, L, h)$;
3. coefficienti di dispersione calcolati sulla base dell'identificazione della classe di stabilità (correlazioni tipo Pasquill, Gifford, Turner o Briggs), $(\sigma_v, \sigma_w) = f(\text{classe stabilità, uso del suolo})$;

Le metodologie hanno diverso grado di complessità e conseguentemente diversa accuratezza per la stima dei coefficienti. Tuttavia, le metodologie più complesse richiedono (i) dati più costosi e di accuratezza elevata, che non sono sempre disponibili, e (ii) costi computazionali maggiori.

Calcolo del campo di dispersione

I modelli a puff permettono di rappresentare un pennacchio di inquinante come sovrapposizione di un numero finito di emissioni discrete rilasciate in rapida sequenza. La situazione è schematicamente rappresentata in Figura 7.

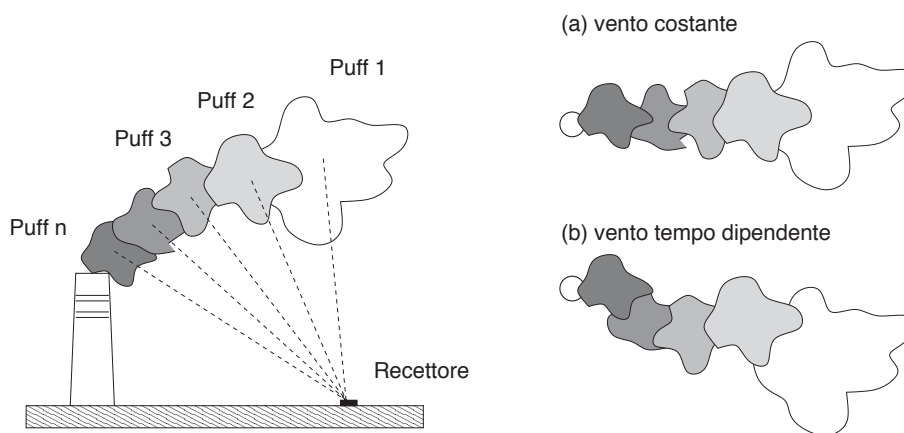


Figura 7: Dispersione di un pennacchio simulato come somma di emissioni discrete nel caso di (a) campo di moto stazionario, (b) campo di moto tempo dipendente.

Ogni pacchetto di inquinante emesso viene trasportato e disperso in modo indipendente dal successivo in funzione delle condizioni meteo locali ed istantanee. Ogni pacchetto contribuisce, in funzione della distanza, a determinare la concentrazione di inquinante osservata in corrispondenza dei recettori.

Calpuff mette a disposizione due tecniche alternative per discretizzare l'emissione continua.

Formulazione a Puff

L'emissione viene modellata come una sequenza di pacchetti discreti di inquinante di forma circolare

(puff). Il contributo del puff al recettore è calcolato ora per ora come:

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} g \cdot \exp\left[\frac{-d_a^2}{2\sigma_x^2}\right] \exp\left[\frac{-d_c^2}{2\sigma_y^2}\right] \quad (12)$$

$$g = \frac{2}{2\pi^{1/2}\sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp\left[\frac{-(H_e + 2nh)^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (13)$$

dove:

- C concentrazione di inquinante al livello del suolo, $[kg/m^3]$;
- Q massa di inquinante contenuto nel puff, $[kg]$;
- σ_x dispersione in direzione del vento, $[m]$;
- σ_y dispersione in direzione trasversale al vento, $[m]$;
- σ_z dispersione in direzione verticale, $[m]$;
- d_a distanza del puff dal recettore in direzione del vento, $[m]$;
- d_c distanza del puff dal recettore in direzione trasversale al vento, $[m]$;
- g termine verticale dell'equazione Gaussiana, $[m]$;
- H_e altezza del puff rispetto al terreno, $[m]$;
- h altezza di mescolamento, $[m]$.

Poiché il puff si sposta nel tempo, il contributo al recettore ora per ora è calcolato tenendo conto della posizione iniziale e finale del puff. Indicando con s la distanza percorsa dal puff tra l'inizio e la fine dell'ora in esame, l'Equazione 12 si può riscrivere come:

$$C(s) = \frac{Q(s)}{2\pi\sigma_y^2(s)} g(s) \cdot \exp\left[\frac{-R^2(s)}{2\sigma_y^2(s)}\right] \quad (14)$$

dove:

- R distanza del puff dal recettore, $[m]$;
- $\sigma_y = \sigma_x$ per dispersione simmetrica in direzione orizzontale.

In questa equazione, la massa di inquinante è dipendente da s perché si assume che processi di rimozione e di trasformazione chimica possano modificarla nel tempo.

Il contributo medio di aumento in concentrazione al recettore per uno spostamento infinitesimo ds del puff è dato da:

$$\overline{C} = \frac{1}{ds} \int_{s_0}^{s_0+ds} \frac{Q(s)}{2\pi\sigma_y^2(s)} g(s) \cdot \exp\left[\frac{-R^2(s)}{2\sigma_y^2(s)}\right] ds \quad (15)$$

dove s_0 è la posizione iniziale.

Formulazione a Slug

La formulazione a *puff* consente di simulare accuratamente la dispersione anche quando il campo meteo è caratterizzato da significative variazioni nello spazio e nel tempo. In queste condizioni, per simulare in modo realistico l'emissione continua, è necessario utilizzare un numero di puff elevato per garantire un'adeguata sovrapposizione dei singoli contributi, con conseguente aumento dei costi di calcolo (proporzionali al numero di *puff* che devono essere seguiti nel trasporto e dispersione). Quando la variabilità del campo meteo non è molto elevata, la soluzione alternativa è quella di assumere per il *puff* una forma allungata nella direzione del vento (*slug*), che permette di riprodurre la continuità dell'emissione riducendo il numero di *puff* emessi.

Lo *slug* rappresenta un'emissione continua di *puff*, ognuno dei quali contenente la massa infinitesima $q \cdot dt$. La lunghezza del corpo principale dello *slug* è $u \cdot \Delta t_e$, con u velocità media del vento e Δt_e il tempo di emissione dell'inquinante.

Il contributo di concentrazione al recettore dovuta alla presenza di uno slug è descritta dall'equazione:

$$C(t) = \frac{Fq}{(2\pi)^{1/2}u'\sigma_y} g \cdot \exp\left[\frac{-d_c^2}{2\sigma_y^2} \frac{u^2}{u'^2}\right] \quad (16)$$

$$F = \frac{1}{2} \left(\operatorname{erf}\left[\frac{d_{a2}}{\sqrt{2}\sigma_{y2}}\right] - \operatorname{erf}\left[\frac{-d_{a1}}{\sqrt{2}\sigma_{y1}}\right] \right) \quad (17)$$

dove:

- u vettore velocità media del vento, $[m/s]$;
- u' velocità istantanea del vento, $u' = (u^2 + \sigma_v^2)^{1/2}$;
- σ_v varianza della velocità del vento;
- q tasso di emissione, $[kg/s]$;
- F funzione di casualità;
- g contributo verticale alla dispersione;
- d_c, d_a distanza trasversale e longitudinale dello slug dal recettore.

La funzione di casualità, F , tiene conto degli effetti di bordo alle estremità dello *slug*. Il fattore (u/u') permette di trattare in modo appropriato la dispersione in condizioni di calma di vento.

L'Equazione 16, integrata sul tempo di campionamento, diventa:

$$\bar{C} = \frac{\bar{F}q}{(2\pi)^{1/2}u'\sigma_y} g \cdot \exp \left[\frac{-d_c^2}{2\sigma_y^2} \frac{u^2}{u'^2} \right] \quad (18)$$

dove:

$$\bar{F} = \frac{1}{2} \operatorname{erf}(\varphi_2) + \frac{1}{2} \frac{\sqrt{2\sigma_y}}{u\Delta t_s} [\xi_e \operatorname{erf}(\xi_e) - \xi_b \operatorname{erf}(\xi_b)] + \frac{1}{2} [\exp(\xi_e^2) - \exp(\xi_b^2)] \quad (19)$$

e

$$\xi_e = \frac{d_{a2} - u\Delta t_s}{\sqrt{s}\sigma_y} \quad (20)$$

$$\xi_b = \frac{d_{a2}}{\sqrt{s}\sigma_y} \quad (21)$$

rappresentano la situazione alla fine e all'inizio del time step δ_s ;

$$\varphi_2 = \frac{d_{a2}}{\sqrt{s}\sigma_y^2} \quad (22)$$

rappresenta la condizione di stabilità alla sorgente.

Calcolo delle statistiche di riferimento per la qualità dell'aria

Il risultato del modello di dispersione è una serie oraria di valori di concentrazione ottenute in corrispondenza dei punti di interesse (recettori) definiti dall'utente. Questi punti possono essere punti isolati o possono costituire una griglia bidimensionale che copre la zona di studio. Le concentrazioni orarie nei recettori rappresentano una serie di dati estremamente ricca di informazioni poiché forniscono l'evoluzione del livello di qualità dell'aria nel dominio di studio. La rappresentazione che si dà di questi dati dipende dalle informazioni di interesse per l'analisi.

Consideriamo la serie di dati rilevata in un singolo recettore. La serie oraria può essere utilizzata per esaminare l'evoluzione a breve termine della dispersione di inquinante in caso di incidente, o per il confronto diretto con misure effettuate in tempo reale.

In genere, il dato viene elaborato prima di essere utilizzato come indicatore del livello di qualità dell'aria, in quanto la pericolosità di molti agenti inquinanti è valutata in termini di esposizione a una concentrazione limite rilevata per un periodo di tempo di durata assegnata. Le statistiche più comuni sono:

1. media annua dei valori orari: si ottiene a partire dai dati orari, sommando i valori di concentrazione ottenuti nel punto durante l'arco temporale dell'anno e dividendo per il numero di ore dell'anno:

$$C_{h,annuo} = \frac{1}{N_a} \sum_{i=1}^{N_a} C_i \quad (23)$$

dove:

- C_i valore orario;
- N_a numero di ore nell'anno.

Questa statistica rappresenta un valore di concentrazione ambiente confrontabile con un dato di esposizione di lungo periodo;

2. media giornaliera (settimanale/mensile) dei valori orari: si ottiene a partire dai dati orari, sommando i valori di concentrazione ottenuti punto per punto durante il periodo della giornata (settimana/mese) e dividendo per il numero di ore del giorno (settimana/mese):

$$C_{h,giorno} = \frac{1}{N_g} \sum_{i=1}^{N_g} C_i \quad (24)$$

dove:

C_i valore orario;

$N_g = 24$ numero di ore nel giorno.

Questa statistica rappresenta un valore di concentrazione ambiente confrontabile con un dato di esposizione di breve (medio) periodo;

3. valore di picco dei valori orari: tra tutti i valori orari di concentrazione, rappresenta il massimo valore misurato e quindi la condizione peggiore nell'orizzonte temporale di esame. Viene calcolato come:

$$C_{max,periodo} = \max_{h \in OT} (C_{i,periodo}) \quad (25)$$

dove:

$C_{i,periodo}$ media sul periodo dei valori orari;

$periodo$ giorno, settimana, mese o anno entro cui si calcola la statistica;

OT orizzonte temporale entro cui si cerca il massimo rilevato.

Il valore di picco, calcolato su periodi di diversa durata, rappresenta in genere un valore "conservativo" per il livello di qualità dell'aria (i.e. un valore rappresentativo della qualità dell'aria nelle condizioni peggiori).

Per un recettore isolato, questi indicatori vengono rappresentati in forma di Tabella. Quando i recettori formano una griglia bidimensionale sul dominio di studio, gli stessi valori vengono rappresentati come isocontorni. È importante osservare che solo gli isocontorni costruiti a partire dai valori medi (per esempio la media annua dei valori orari) sono valori rappresentativi delle ricadute al suolo degli inquinanti. Gli isocontorni ottenuti da valori di picco, indipendentemente dal periodo su cui sono stati calcolati, non sono rappresentativi delle ricadute al suolo degli inquinanti in quanto mettono insieme, per diversi recettori, condizioni che si sono verificate in momenti diversi all'intero del periodo in esame.

Dati richiesti dal modello

Il modello utilizza in sequenza il modulo meteorologico, il modulo di dispersione e il modulo di elaborazione dei risultati.

Come schematizzato in Figura 8, i dati richiesti sono organizzati in file esterni e file interni, prodotti dagli altri moduli, e comprendono:

- dati geo-morfologici: localizzazione del dominio, quote altimetriche, uso del suolo;
- dati meteorologici:
 - dati rilevati al suolo con frequenza oraria/tri-oraria per: (i) velocità e direzione del vento, (ii) temperatura, (iii) copertura nuvolosa, (iv) altezza delle nubi, (v) pressione atmosferica, (vi) umidità relativa, (vii) precipitazione oraria.
 - dati rilevati in quota relativi al profilo verticale (almeno 2 osservazioni al giorno) per: (i) velocità e direzione del vento, (ii) temperatura, (iii) pressione, (iv) altezza.
- dati di emissione e punti di monitoraggio.

I dati vengono organizzati in file di testo di formato opportuno.

GEO.DAT — Contiene le informazioni geo-morfologiche sul dominio di calcolo su cui verrà ricostruito il campo meteo: (i) quote dei punti griglia, (ii) uso del suolo (in formato americano) da cui vengono ricavati i parametri di superficie (rugosità, albedo, flusso di calore dal terreno).

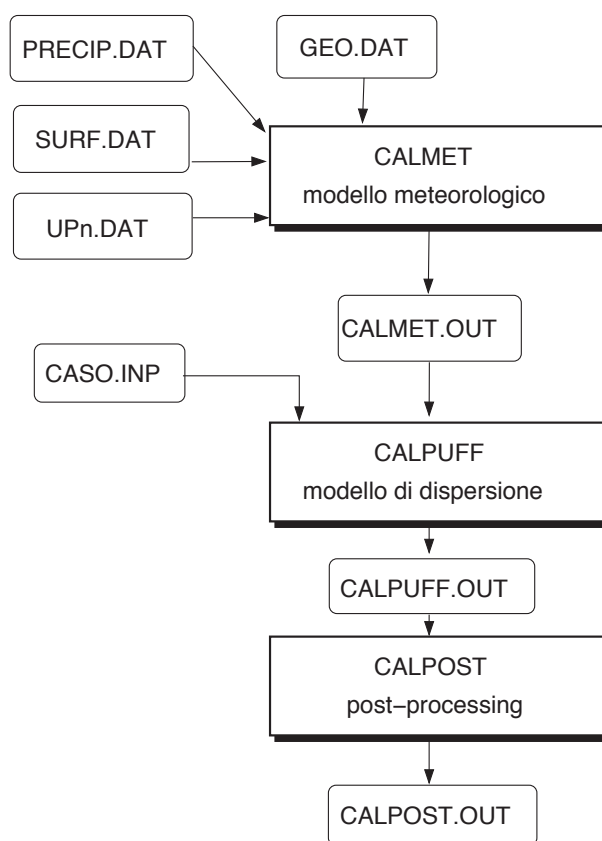


Figura 8: Organizzazione dei file di input per il modello di dispersione.

SURF.DAT — Contiene le informazioni provenienti dalle stazioni meteo di superficie (direzione e velocità del vento, altezza delle nuvole, indice di copertura nuvolosa, temperatura, umidità relativa, pressione e codice di precipitazione). La copertura nuvolosa, dove non disponibile, può essere ricostruita a partire dai valori di irraggiamento solare (la riduzione in irraggiamento rispetto al valore di riferimento è proporzionale al grado di copertura nuvolosa). Ogni stazione è identificata da un codice e dalla posizione (coordinate UTM).

UPn.DAT — Contiene le informazioni provenienti dai radiosondaggi. Viene generato utilizzando un programma (READ62) che formatta in modo opportuno i dati raccolti dalle radiosonde.

PRECIP.DAT — Contiene i valori orari di pioggia espressi in [mm/h]. Viene utilizzato per modellare gli effetti della deposizione umida degli inquinanti.

CASO.INP — I dati delle emissioni (posizione, tipo, portata di inquinante, velocità, temperatura, ...) e la definizione dei recettori sono contenuti nel file di controllo della simulazione.

3 Implementazione dei modelli

Per la ricostruzione del campo di vento, la zona quadrata di estensione $10 \times 10 \text{ km}$ centrata rispetto al punto emissivo dell'impianto è stata suddivisa in celle di dimensione pari a $500 \times 500 \text{ m}$. Al di sopra del terreno, il campo di moto è stato ricostruito in corrispondenza a 8 piani verticali ad altezza progressivamente crescente rispetto al suolo, da 20 m fino ad una altezza massima pari a 2000 m . Per la valutazione della ricaduta degli inquinanti la griglia computazionale è stata ulteriormente infittita in modo da valutare la ricaduta per una griglia di recettori a distanza di 250 m l'uno dall'altro. L'estensione del dominio e la risoluzione della griglia dei recettori sono adeguate per valutare gli effetti di deposizione locale di inquinanti emessi dall'impianto in questione.

Le coordinate geografiche degli angoli del dominio di studio sono riportate in Tabella 2, così come le coordinate delle stazioni meteorologiche per le quali sono stati acquisiti dati di vento di superficie e di quota.

	UTM, m E	UTM, m N
Punto di riferimento per l'area d'impianto	451,025 m	4,666,188 m
Punto emissivo	451,111 m	4,666,233 m
Dominio ($10 \times 10 \text{ km}$)		
A	446,111 m	4661,233 m
B	451,111 m	4661,233 m
C	451,111 m	4671,233 m
D	446,111 m	4671,233 m
Pescara	432,633 m	4698,067 m
Brindisi	749,424 m	4,504,090 m

Tabella 2: Localizzazione del centro del dominio, dei punti estremi e delle stazioni di misura per le quali sono stati acquisiti dati meteo di superficie e quota.

3.1 Caratterizzazione orografica del sito

Fissata l'estensione del dominio di studio, sono stati acquisiti dati relativi all'orografia del luogo accedendo all'archivio informatizzato dei dati della United States Geological Survey (USGS). I dati (SRTM data set), scaricabili dal sito https://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/Eurasia/, sono stati prodotti dalla collaborazione tra la NASA e l'NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) con la partecipazione delle Agenzie spaziali Tedesca e Italiana al fine di generare un modello digitale del terreno (DEM) della Terra su scala quasi globale utilizzando tecniche di interferometria radar. I dati sono disponibili a tre diverse risoluzioni spaziali (SRTM 1, 3 e 30 arc-secondo) a seconda delle zone, corrispondenti a risoluzioni minime pari a 30, 90 e 900 m rispettivamente. Il dominio di interesse ricade all'interno del file N42E014.hgt. Utilizzando il pre-processore TERREL disponibile nella suite di programmi Calpuff è stato possibile ricavare la quota orografica di punti all'interno del dominio di interesse per definire l'orografia locale del sito.

Il risultato di questa operazione è rappresentato in Figura 9. La mappa tridimensionale evidenzia che l'altezza media della zona oggetto di studio è compresa tra i $39 - 366 \text{ m}$. È evidente la zona di fondovalle della Val di Sangro e i rilievi nella parte Nord-Occidentale e Sud-Orientale del dominio.

Come risulta chiaro dalla vista aerea (vedi Figura 10) la zona di studio comprende aree agricole ed aree ad insediamento misto urbano/industriale.

Per la classificazione della zona di studio in termini di utilizzo del suolo si è partizionato il dominio distinguendo le aree agricole da quelle ad insediamento urbano/industriale (categoria di utilizzo del suolo rispettivamente uguale a 20 e 10, sulla base della classificazione del sistema USGS).

3.2 Scenario meteorologico

Per caratterizzare la meteorologia del sito si è cercato di individuare le stazioni meteo di superficie e di quota più prossime alla zona di studio. Dalla consultazione del Piano Regionale per la Tutela della

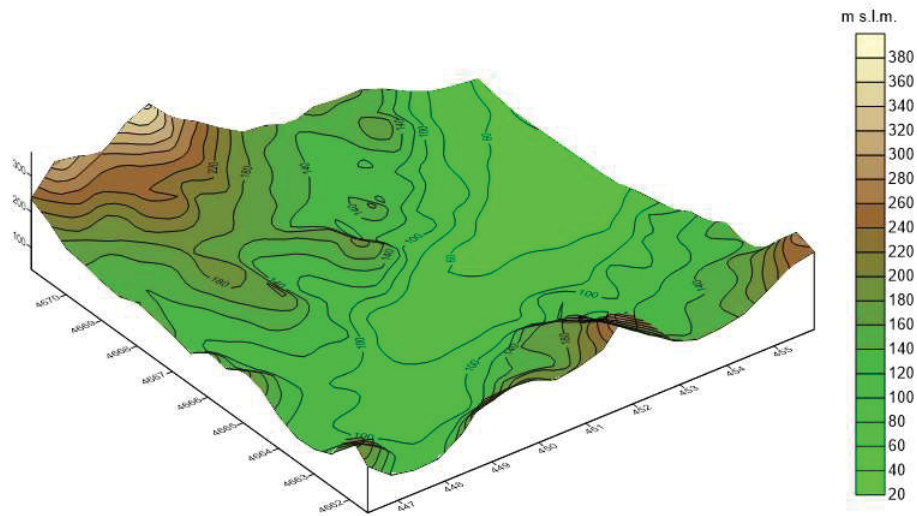


Figura 9: Vista tridimensionale dell'orografia del sito. L'altezza del terreno s.l.m. è compresa tra $39 \div 366 \text{ m}$.

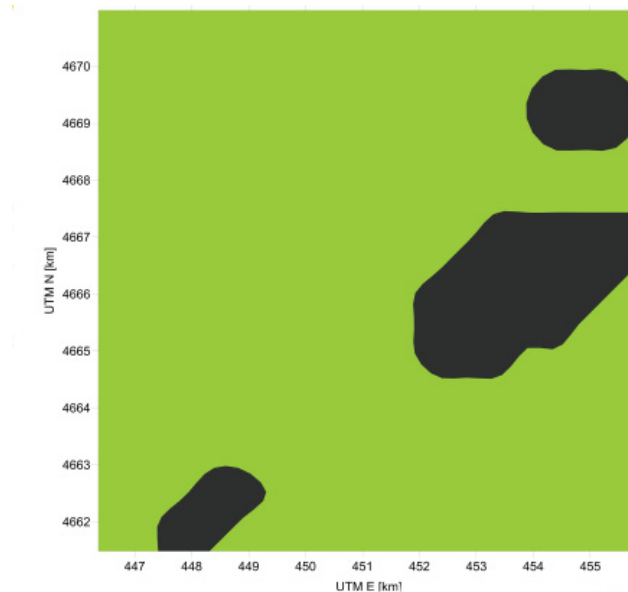


Figura 10: Mappa delle categorie di utilizzo di uso del suolo: zona urbana/industriale in nero (categoria 10) e area agricola in verde (categoria 20).

Qualità dell'Aria (Assessorato Parchi Territorio Ambiente Energia, 2007) emerge l'esistenza di una rete di 60 centraline appartenenti alla rete agrometeorologica dell'ARSSA (vedi Figura 11).

Di queste, la più prossima e potenzialmente idonea per la caratterizzazione dell'anemometria del

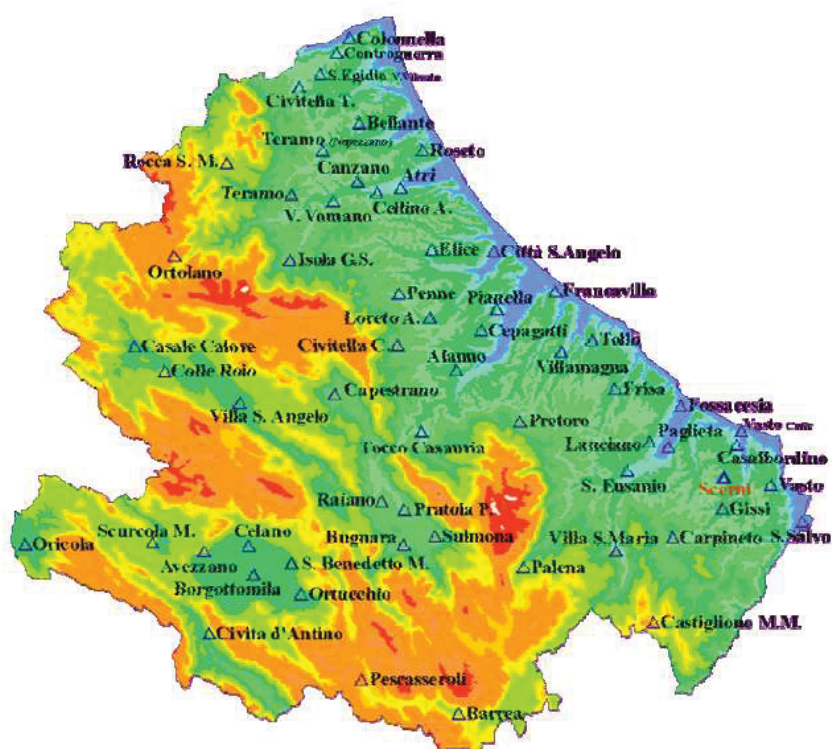


Figura 11: Rete agrometeorologica ARSSA.

sito di studio è quella di S.Eusanio. L'impossibilità di reperire dati orari in corrispondenza di questa stazione ha fatto ripiegare sull'utilizzo dei dati della stazione meteo di Pescara, scaricabili liberamente via Internet dal sito

<http://www.src.com/calpuff/data/surface.html> che punta ad un database globale gestito dal NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) degli Stati Uniti.

Per i dati in quota, pur esistendo probabilmente una fonte di dati di radiosondaggio presso l'aeroporto di Pescara, nell'impossibilità di acquisire questi dati si è dovuto ripiegare su basi di dati accessibili. La consultazione del sito <http://weather.uwyo.edu/upperair/europe.html> ha permesso di individuare due potenziali stazioni meteorologiche di radiosondaggi di interesse: la stazione di Roma, Pratica di Mare e la stazione di Brindisi. Nonostante la maggior distanza, a fronte della migliore collocazione geografica (esposizione sul mare Adriatico) si è deciso di acquisire i dati relativi alla stazione di Brindisi (16320 LIBR Brindisi, latitudine 40.65, longitudine 17.95, altezza: 10.0 m). Come si desume dalle coordinate geografiche riportate in Tabella 2, entrambe le stazioni risultano esterne al dominio di calcolo. La localizzazione delle stazioni meteo di superficie e di quota rispetto al sito di studio è mostrata in Figura 12. Anche se le stazioni di superficie e di quota sono esterne al dominio di studio, è possibile utilizzarne i dati assegnando loro un peso variabile in base alla distanza dal punto di interesse. Questo permette al modulo Calmet di utilizzare i dati della stazione di superficie e in quota per stimare per estrapolazione nella prima fase di ricostruzione del campo di vento i valori di velocità e direzione del vento e le caratteristiche di mescolamento dell'atmosfera da attribuire ai diversi punti del dominio di calcolo. Tale ricostruzione viene affinata negli stadi successivi del calcolo tenendo conto degli effetti dell'orografia locale.

3.2.1 Identificazione dell'annualità di riferimento

Il primo passo nell'analisi dei dati di vento di superficie è stato quello di determinare la rappresentatività statistica di una serie annuale rispetto alle variazioni inter-annuali. Per questo sono stati acquisiti dati orari relativi alle annate 2013 e 2014. I dati, scaricati dal sito

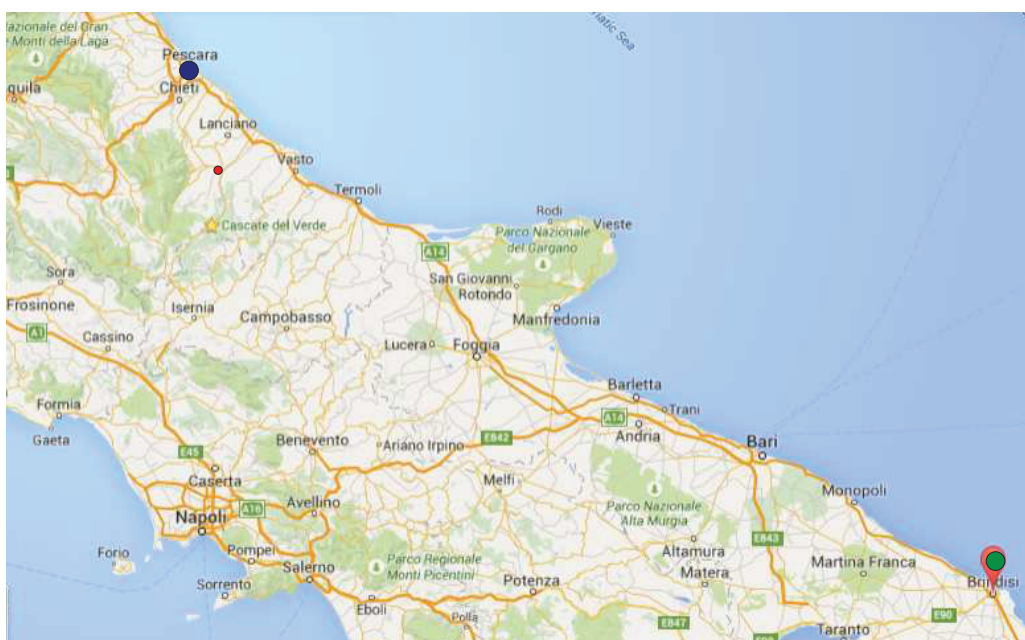


Figura 12: Mappa con localizzazione delle stazioni meteo di Pescara (stazione di superficie) e Brindisi (stazione per radiosondaggi) rispetto all'area d'impianto (punto rosso).

<http://www.src.com/calpuff/data/surface.html> gestito dal NOAA, comprendono velocità e direzione del vento, temperatura dell'aria, umidità relativa, pressione e precipitazione. I dati sono stati elaborati utilizzando il software WRPLOT per ricavare le statistiche di distribuzione dei venti per le due annate acquisite ed analizzarle in modo comparativo.

In Figura 13 è riportato il confronto tra le rose dei venti e la distribuzione di frequenza calcolate su base annua per il 2013 e il 2014 utilizzando le classi di intensità del vento definite secondo Pasquill (Lees, 1986). Nelle Tabelle 3 e 4 sono riportate le distribuzioni di frequenza.

Dai grafici emerge che il regime dei venti è caratterizzato dall'esistenza di due direzioni prevalenti (vento proveniente da Sud-Ovest e vento proveniente da Nord-Est). L'intensità media del vento da S-O è inferiore all'intensità media del vento da N-E. Anche dalla distribuzione di probabilità marginale dell'intensità dei venti non si evidenziano sostanziali differenze tra le due annualità. Il confronto dei grafici e l'esame delle Tabelle ottenute per le due annualità indica una relativa stabilità delle statistiche. Si è quindi deciso di utilizzare i dati del 2014 come annualità di riferimento, rappresentativa della variabilità meteorologica del sito. I dati mancanti o incompleti presenti nel data base sono stati integrati interpolando tra i valori orari di dati disponibili.

3.2.2 Analisi del regime anemometrico (dati di superficie)

I dati della stazione di superficie relativi all'anno 2014 sono stati analizzati nel dettaglio per identificare il regime anemometrico tipico della zona.

Come già discusso, la rosa dei venti calcolata su base annua (Figura 13) per il 2014 indica vento prevalente da Sud-Ovest di intensità media compresa tra 2 e 3 m/s. Anche i venti dalla direzione opposta (Nord-Est) sono abbastanza frequenti e caratterizzati da velocità medie comprese tra 3 e 5 m/s.

È interessante analizzare la distribuzione dei venti anche in relazione ai diversi periodi dell'anno e alle diverse ore del giorno. In Figura 14 sono mostrate le rose dei venti calcolate per le diverse stagioni dell'anno. Dalla Figura 14 emerge che nella stagione primaverile ed estiva i venti da N-E sono più frequenti, con intensità media compresa tra 3-5 m/s. In autunno e inverno prevalgono invece i venti da S-O, di intensità media compresa tra 2-3 m/s.

Direzione	Frequenza Intensità/direzione del vento					Totale
	0.5-2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-6.0	≥ 6.0	
N	235	121	197	95	62	710
NNE	186	142	319	70	22	739
NE	214	118	330	61	21	744
ENE	124	76	155	56	26	437
E	100	50	45	23	21	239
ESE	46	14	12	3	12	87
SE	44	9	16	1	0	70
SSE	63	5	6	0	0	74
S	317	191	82	15	16	621
SSO	754	618	154	45	181	1752
SO	657	586	211	56	144	1654
OSO	209	120	35	9	16	389
O	202	63	38	2	1	306
ONO	106	48	77	10	4	245
NO	113	38	89	18	14	272
NNO	78	35	81	18	31	243
Sub-Totale	3448	2234	1847	482	571	8582
Calme di vento	177					
Dati incompleti	1					
Dati totali	8760					
Velocità media	2.57 m/s					

Tabella 3: Distribuzione di frequenza congiunta di intensità e direzione del vento per la stazione di Pescara, anno 2013. Le calme di vento rappresentano il 2.02% dei dati orari sull'anno.

Direzione	Frequenza Intensità/direzione del vento					Totale
	0.5-2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-6.0	≥ 6.0	
N	206	99	242	70	41	658
NNE	225	151	299	41	29	745
NE	203	123	336	39	17	718
ENE	158	82	175	47	12	474
E	126	54	59	15	24	278
ESE	44	7	18	8	13	90
SE	31	9	17	4	9	70
SSE	45	5	11	3	3	67
S	372	211	42	8	5	638
SSO	723	552	103	28	75	1481
SO	741	547	132	40	113	1573
OSO	227	90	35	7	10	369
O	203	46	20	0	0	269
ONO	90	72	83	5	3	253
NO	99	59	93	23	7	281
NNO	95	53	74	28	44	294
Sub-Totale	3588	2160	1739	366	405	8258
Calme di vento	501					
Dati incompleti	1					
Dati totali	8760					
Velocità media	2.31 m/s					

Tabella 4: Distribuzione di frequenza congiunta di intensità e direzione del vento per la stazione di Pescara, anno 2014. Le calme di vento rappresentano il 5.72% dei dati orari sull'anno.

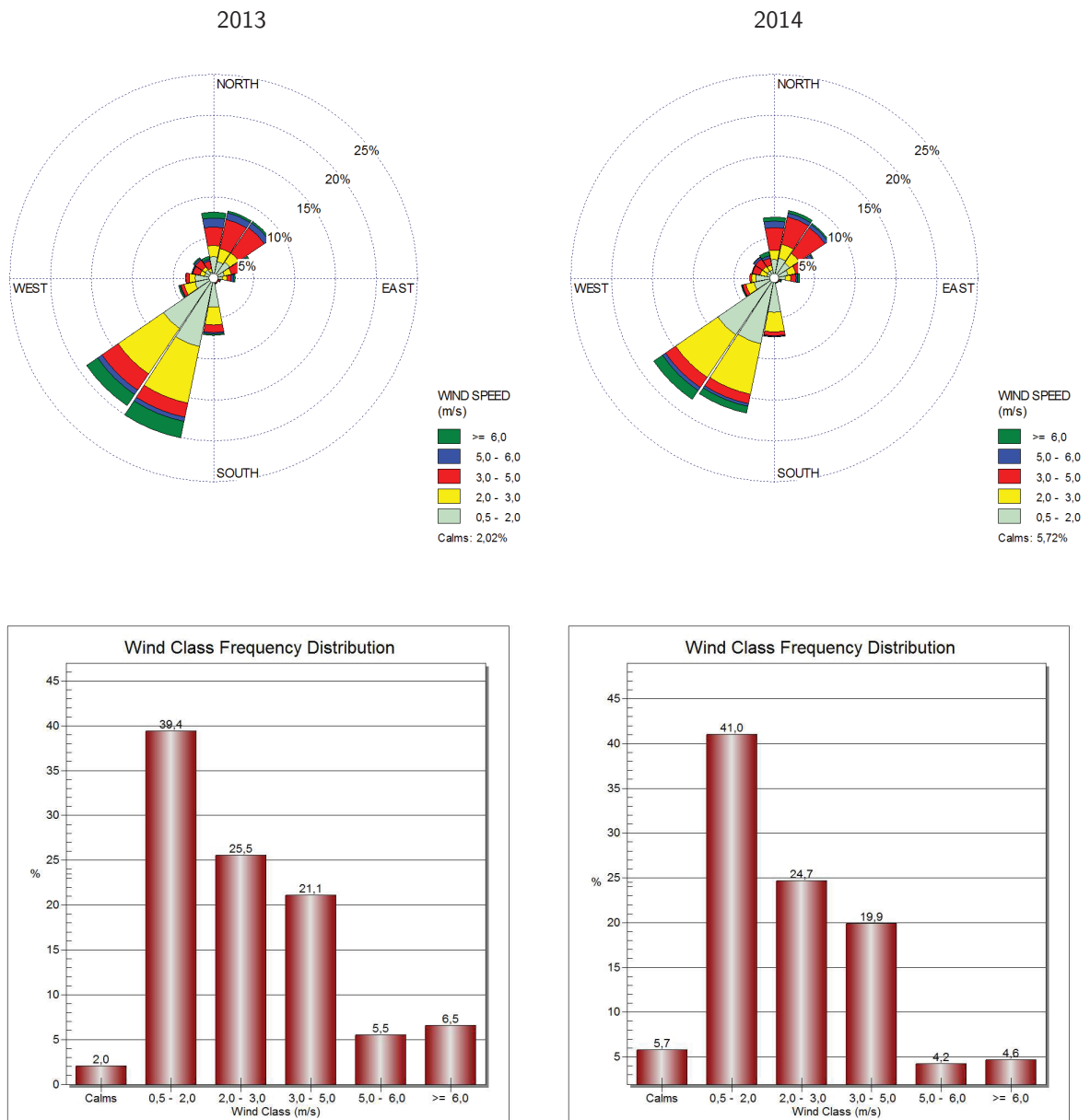


Figura 13: Confronto tra le rose dei venti e le distribuzioni di frequenza delle classi di vento calcolate per gli anni 2013 e 2014.

In Figura 18 sono mostrate le rose dei venti calcolate per le diverse ore del giorno. È evidente la prevalenza di vento da S-O durante le ore notturne. Nelle ore 7-12 la distribuzione dei venti è equamente ripartita tra N-E e S-O mentre nelle ore 13-18 è prevalente il vento da N-E.

3.2.3 Analisi del regime anemometrico (sito impianto)

Utilizzando i dati di superficie descritti sopra e i dati di quota è stato possibile ricostruire il campo di moto locale all'interno del dominio computazionale oggetto di studio attraverso il programma CALMET. Il risultato di questa elaborazione è il campo di moto e di dispersione orario risolto in corrispondenza di tutti i punti della griglia (passo 500 m) a diverse distanze dalla superficie (fino a 2000 m di quota).



Figura 14: Rose dei venti stagionali calcolate per l'anno 2014 in corrispondenza della stazione meteo di superficie di Pescara.

Questi dati sono essenziali per la simulazione della dispersione degli inquinanti. In questa prima fase sono stati utilizzati per caratterizzare il regime anemometrico della zona in cui sarà insediato l'impianto.

La conformazione della valle in cui si trova l'impianto fa sì che l'orografia possa avere un ruolo importante per la modifica del regime anemometrico locale rispetto a quello della stazione di superficie di Pescara. Per valutare l'importanza dell'orografia, si sono estratti ed elaborati i dati di vento e micrometeorologia locale (intensità e direzione del vento, classi di stabilità) calcolati dal modello in corrispondenza dell'impianto.

In Figura 16 è mostrata la rosa dei venti annuale calcolata in corrispondenza dell'impianto. Dal confronto con la Figura 13, si vede che la rosa dei venti non è identica a quella di Pescara. In particolare

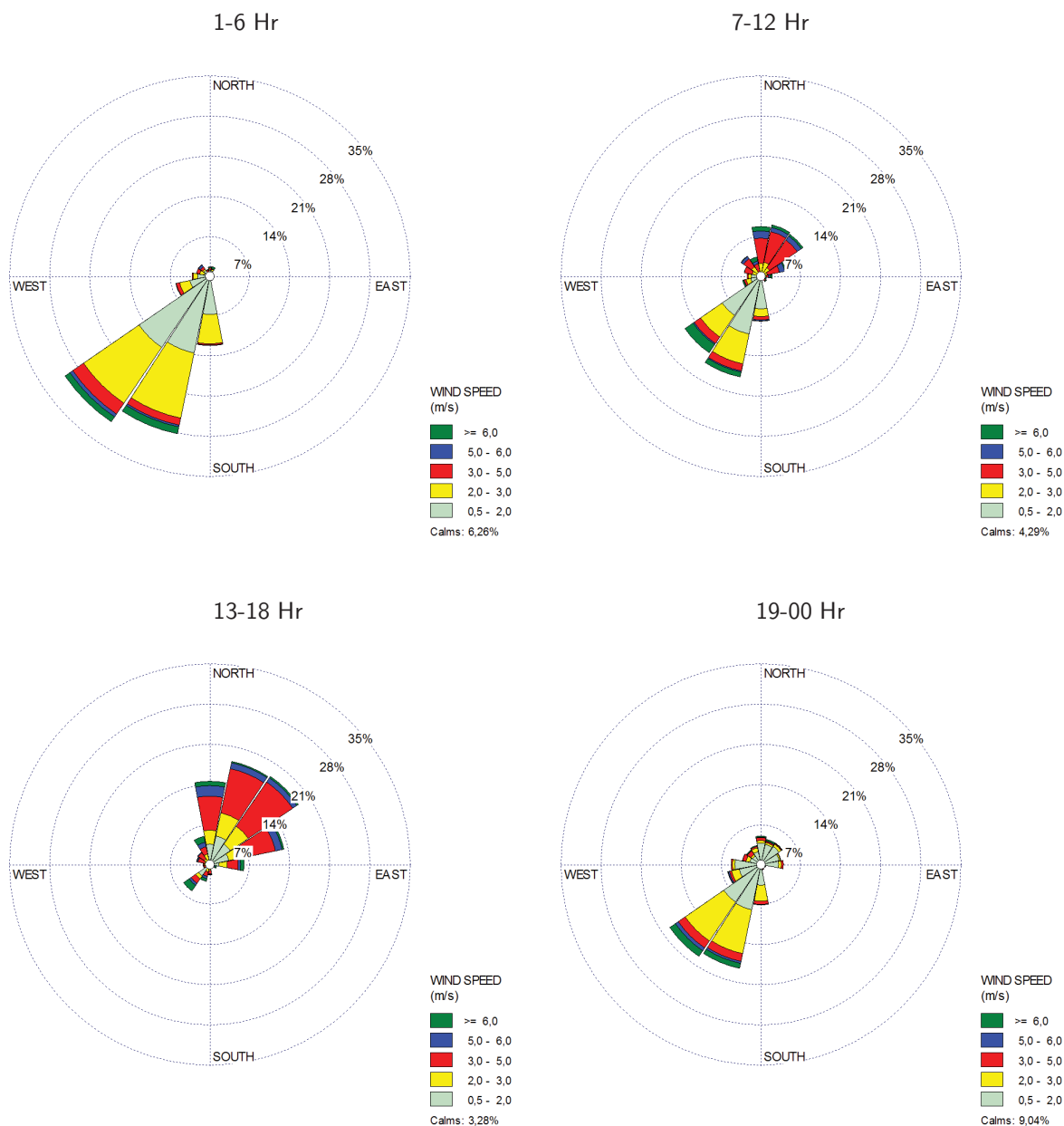


Figura 15: Rose dei venti giornaliere calcolate per l'anno 2014 in corrispondenza della stazione meteo di superficie di Pescara.

si evidenzia una minore variabilità nei settori di provenienza del vento da S-O, probabilmente determinato dall'effetto di incanalamento del vento nella valle.

A parte la ridotta variabilità della direzione di provenienza del vento, le rose dei venti stagionali e orarie non evidenziano sostanziali differenze rispetto alla stazione di Pescara.

3.3 Identificazione dell'altezza del camino

Per identificare l'altezza più opportuna per il camino, Screen3 è stato fatto girare utilizzando i dati di emissione riportati in Tabella 1. In Figura 19 è rappresentato il valore di concentrazione al suolo

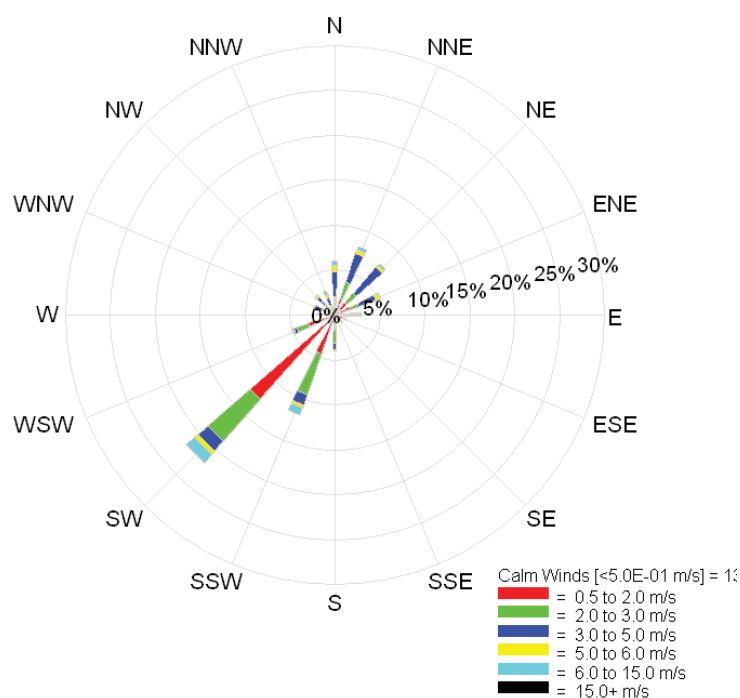


Figura 16: Rosa dei venti calcolata da Calmet in corrispondenza dell'impianto.

valutato lungo la direzione sottovento a distanza progressivamente crescente dalla sorgente emissiva. I grafici si riferiscono all'emissione di CO e altezza di camino pari a 15 m o 18 m. Ogni curva corrisponde ad una diversa classe di stabilità atmosferica.

Dato che la posizione del punto di massima ricaduta non cambia al variare della specie chimica analizzata, i grafici relativi alle polveri e all' NO_x non sono riportati.

Si osserva che le classi di stabilità cui è associata la maggiore e anticipata ricaduta degli inquinanti sono quelle corrispondenti ad atmosfera instabile (A, B, C) e neutra (D). In queste condizioni, il fattore di dispersione verticale elevato favorisce un rapido allargamento del pennacchio verso il suolo mentre il fattore di dispersione trasversale contribuisce a promuovere la diluizione degli inquinanti. Per atmosfera stabile (E, F) i fattori di dispersione trasversale e verticale hanno invece valori bassi: il pennacchio si mantiene compatto sia in direzione verticale che trasversale promuovendo il trasporto degli inquinanti a distanze maggiori, in genere con un picco di ricaduta più contenuto.

In Tabella 6 sono riportati i valori del massimo di ricaduta calcolati per le tre specie. L'entità del massimo di ricaduta dipende dalla quantità di massa emessa. Per nessuno degli inquinanti il valore di riferimento risulta essere superato in corrispondenza del punto di massima ricaduta.

In Figura 20 è riportato il confronto dei profili di ricaduta valutati nella condizione peggiore (classe di stabilità C) per le due altezze di camino considerate. Il punto di massima ricaduta si avvicina alla sorgente (254 m contro 286 m) per il camino ad altezza minore. Il massimo di ricaduta risulta più alto del 20%.

Alla luce di questi dati, considerato il costo relativamente basso di realizzare una ciminiera di 18 m piuttosto che di 15 m, si suggerisce di adottare una altezza pari a 18 m per il punto emissivo.

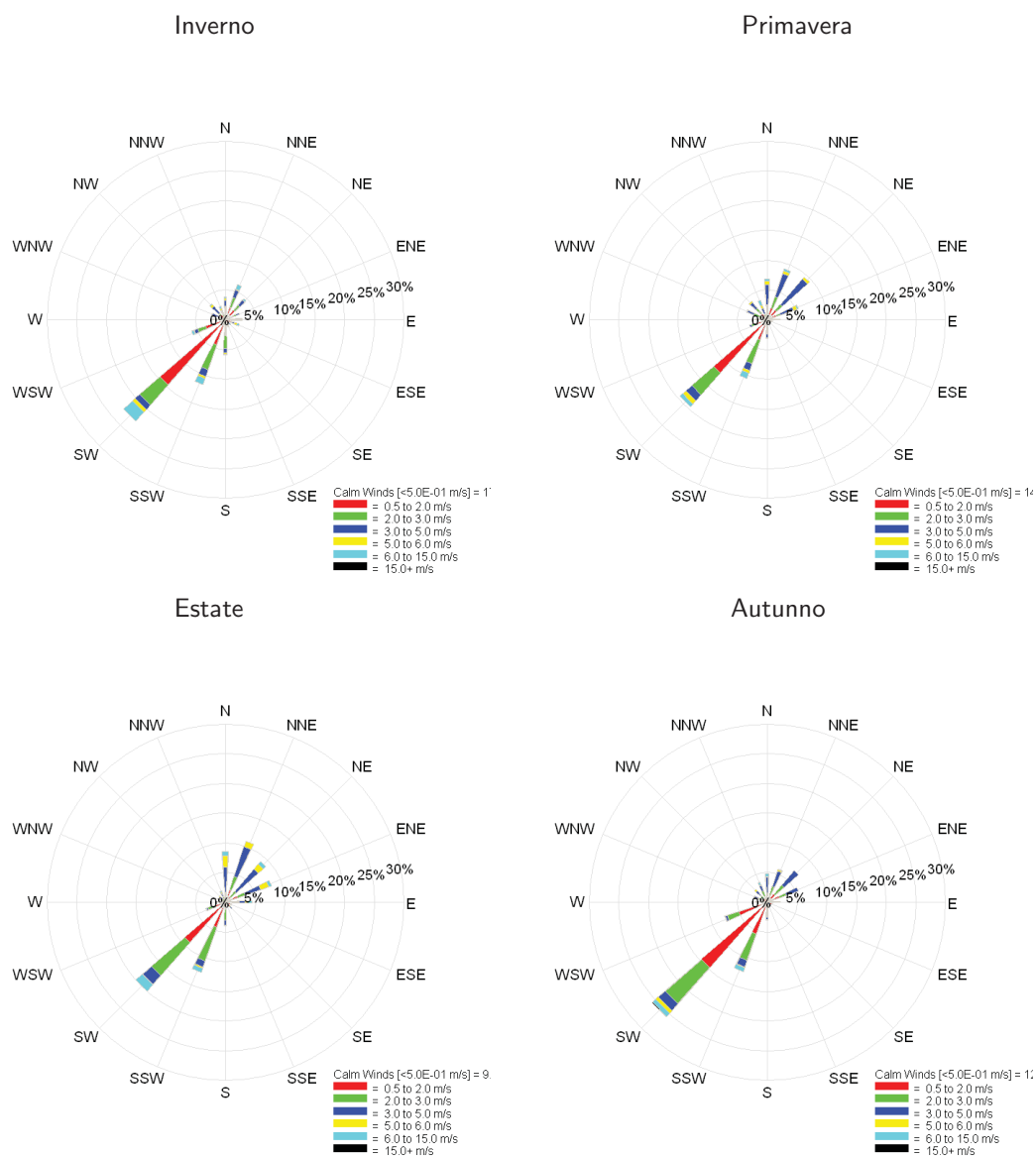


Figura 17: Rose dei venti stagionali calcolate per l'anno 2014 in corrispondenza dell'impianto.

Direzione	Frequenza Intensità/direzione del vento					Totale
	0.5-2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-6.0	≥ 6.0	
N	97	88	246	71	43	545
NNE	176	167	298	44	26	711
NE	149	123	333	36	17	658
ENE	158	79	176	44	8	465
E	106	53	62	18	26	265
ESE	62	9	18	9	8	106
SE	53	9	18	1	8	89
SSE	44	9	9	1	0	63
S	132	141	53	9	8	343
SSO	403	421	106	27	78	1035
SO	1095	552	132	36	105	1920
OSO	272	114	36	9	8	439
O	114	36	18	1	0	169
ONO	62	71	79	9	0	221
NO	79	62	97	27	8	273
NNO	62	53	71	27	44	257
Sub-Totale	3064	1987	1752	369	387	7559
Calme di vento	1199					
Dati totali	8760					
Velocità media	2.60 m/s					

Tabella 5: Distribuzione di frequenza congiunta di intensità e direzione del vento in corrispondenza dell'impianto. Le calme di vento rappresentano il 13.7% dei dati.

H=15 m	A	B	C	D	E	F	Riferimento
Distanza [m]	292	285	254	295	3325	3380	
CO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	15.8	19.12	25.96	24.52	11.23	9.78	10,000*
NOX [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	55.3	66.92	90.86	85.82	39.305	34.23	200
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	2.765	3.346	4.543	4.291	1.96525	1.7115	40**
H=18 m	A	B	C	D	E	F	
Distanza [m]	307	306	286	400	3380	3380	
CO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	14.65	16.77	20.75	18.04	9.92	7.94	10,000*
NOX [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	51.275	58.695	72.625	63.14	34.72	27.79	200
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	2.56375	2.93475	3.63125	3.157	1.736	1.3895	40**

* valore mediato sulle 8 ore.

** valore medio sull'anno.

Tabella 6: Distanza sottovento ed entità del massimo di ricaduta calcolato da Screen3 per le diverse classi di stabilità atmosferica e per le due altezze di camino. In grassetto la condizione di ricaduta a distanza minima e con massima concentrazione.

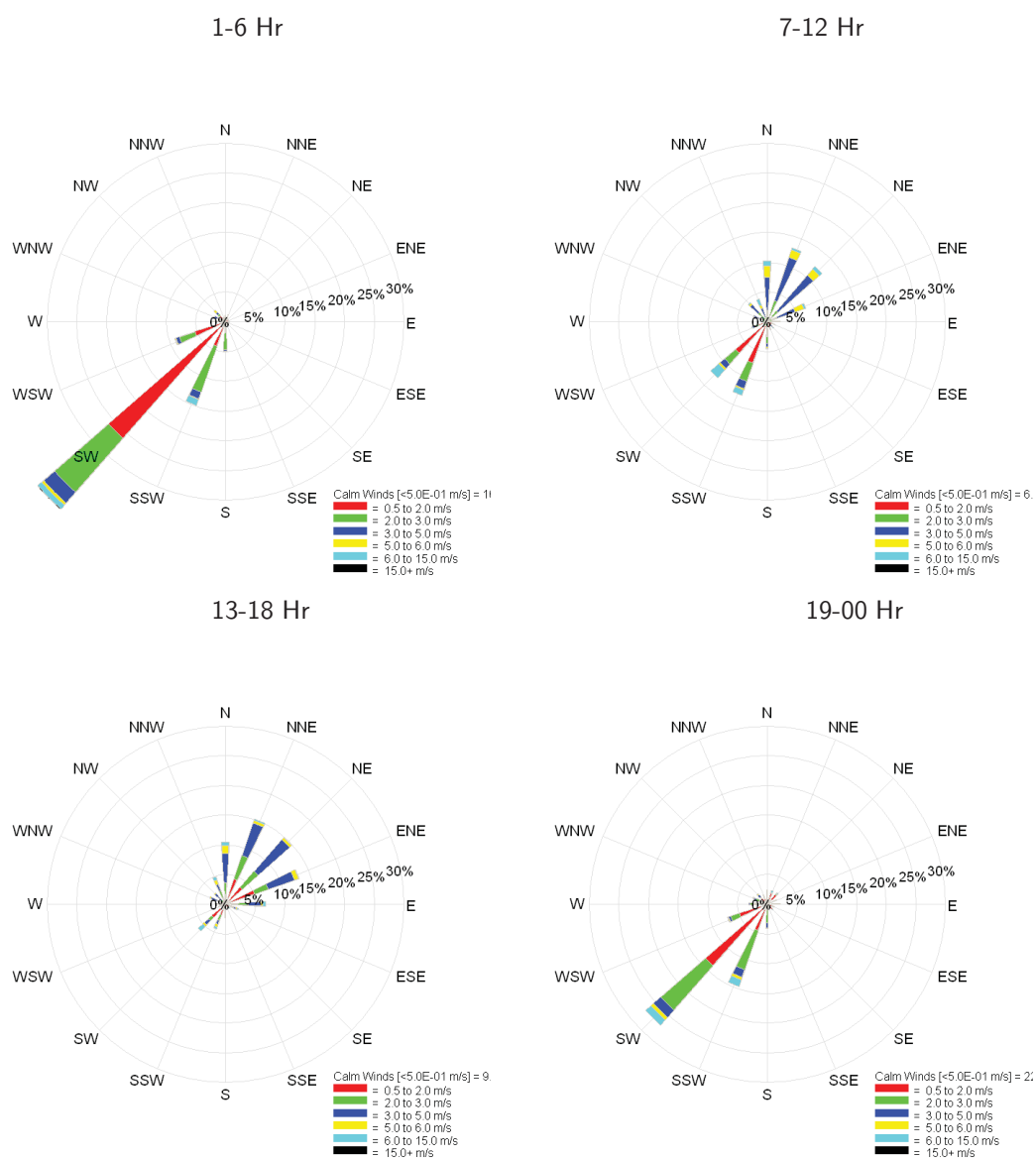


Figura 18: Rose dei venti giornaliere calcolate per l'anno 2014 in corrispondenza dell'impianto.

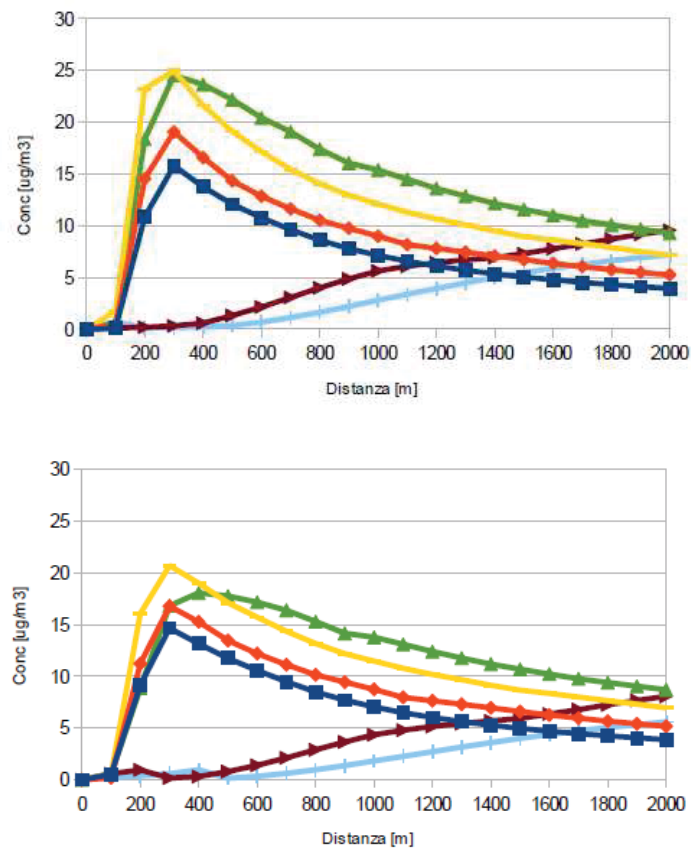


Figura 19: Profilo di concentrazione al suolo a distanza progressivamente crescente dal punto emissivo: emissione di CO da camino alto 15 m (a) e 18 m (b). Ogni curva corrisponde ad una diversa classe di stabilità.

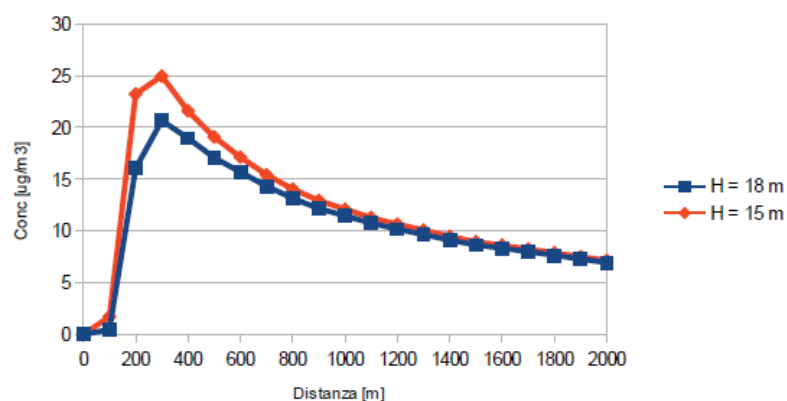


Figura 20: Confronto dei profilo di concentrazione al suolo a distanza progressivamente crescente dal punto emissivo per classe di stabilità C: emissione di CO da camino alto 15 m (curva rossa) e 18 m (curva blu).

4 Risultati

4.1 Analisi della dispersione

L'analisi della dispersione è stata realizzata sul dominio $10 \times 10 \text{ km}$ utilizzando una risoluzione spaziale doppia (un punto ogni 250 m) rispetto a quella utilizzata per la ricostruzione del campo di moto in modo da valutare con maggior precisione le curve di ricaduta.

I dati di concentrazione disponibili su base oraria per tutti i punti griglia sono stati elaborati per calcolare le statistiche normalmente impiegate per rappresentare gli impatti:

- il valor medio annuo dei dati orari;
- il valor massimo orario calcolato nel periodo dell'anno;
- il valore massimo dei dati mediati su un numero pre-determinato di ore (per esempio 8 ore) calcolato nel periodo dell'anno;
- il valore massimo dei dati medi giornalieri (mediati sulle 24 ore successive) calcolato nel periodo dell'anno.

In Tabella 7 sono riportati i valori limite (previsti dal DLgs. 155/2010) utili per valutare lo stato di qualità dell'aria rispetto al sottoinsieme di inquinanti identificati come rilevanti per la valutazione di impatto nella zona di insediamento dell'impianto.

L'emissione modellata rappresenta solo una delle possibili emissioni che potrebbero concorrere a determinare il livello di qualità dell'aria finale nella zona di interesse. Per una corretta valutazione degli impatti, i risultati del modello andrebbero corretti tenendo conto del valore di fondo di inquinamento, rappresentativo degli effetti delle sorgenti non esplicitamente simulate con il modello, prima di calcolare le statistiche di ricaduta e confrontarle con i limiti di legge. Dal Piano di Tutela della Qualità dell'aria riferito a dati del 2007 è possibile desumere valori di riferimento medi per la concentrazione di fondo nella zona di Lanciano riferiti a polveri ($27 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e ossidi di azoto ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Non sono invece disponibili valori di fondo medi per l'ossido di carbonio. Vista la natura del dato di fondo disponibile (valore medio annuo e annualità diversa dal periodo considerato per la modellazione) le valutazioni di impatto e ricaduta saranno fatte senza considerare gli effetti del fondo (al netto del valore di fondo).

Specie	Valore orario	Media giornaliera	Media sull'anno
Polveri	—	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
NO_x come NO_2	$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$	—	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
CO		$10 \text{ mg}/\text{m}^3$, media su 8 ore	

* D.Lgs. 13 agosto 2010, n.155, Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa.

Tabella 7: Limiti di legge per la concentrazione di inquinanti nell'ambiente.

Nella Tabella 7 è indicato il valore soglia per l'inquinante così come il periodo di media rispetto al quale deve essere calcolato il valore della statistica di riferimento.

Vengono di seguito riportate e analizzate le mappe di ricaduta calcolate sulla base dei risultati forniti dal modello.

4.1.1 Polveri totali

In Figura 21 è rappresentato l'isocontorno di concentrazione al livello del suolo calcolato per le polveri totali. Gli isocontorni rappresentano il valor medio annuo della concentrazione di polveri espressa in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Il limite di legge per la concentrazione media annua è fissato dal DLgs 155/2010 in $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valore orario). Il valore di fondo medio annuo indicato nel Piano di Tutela della Qualità dell'aria, riferito a dati del 2007, è di $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Gli isocontorni mostrati in Figura 21 indicano che su base annua, gli isocontorni di concentrazione risultano allineati nella direzione prevalente del vento. Sono visibili due diverse zone di massima ricaduta, la prima nelle immediate vicinanze dell'impianto e la

seconda ad un paio di chilometri di distanza in direzione N-E. Queste zone individuano le aree di ricaduta caratteristiche di venti di minore ($0.5 < U < 2 \text{ m/s}$) e maggiore intensità ($2 < U < 3 \text{ m/s}$) che spirano da S-O (vedi Tabella 5). I valori di massima ricaduta sono comunque contenuti (valore massimo pari a $0.0319 \mu\text{g}/\text{m}^3$) rispetto al valore limite di legge. Allo stato attuale, anche tenuto conto del valore di fondo medio annuo, non si prevedono superamenti della soglia.

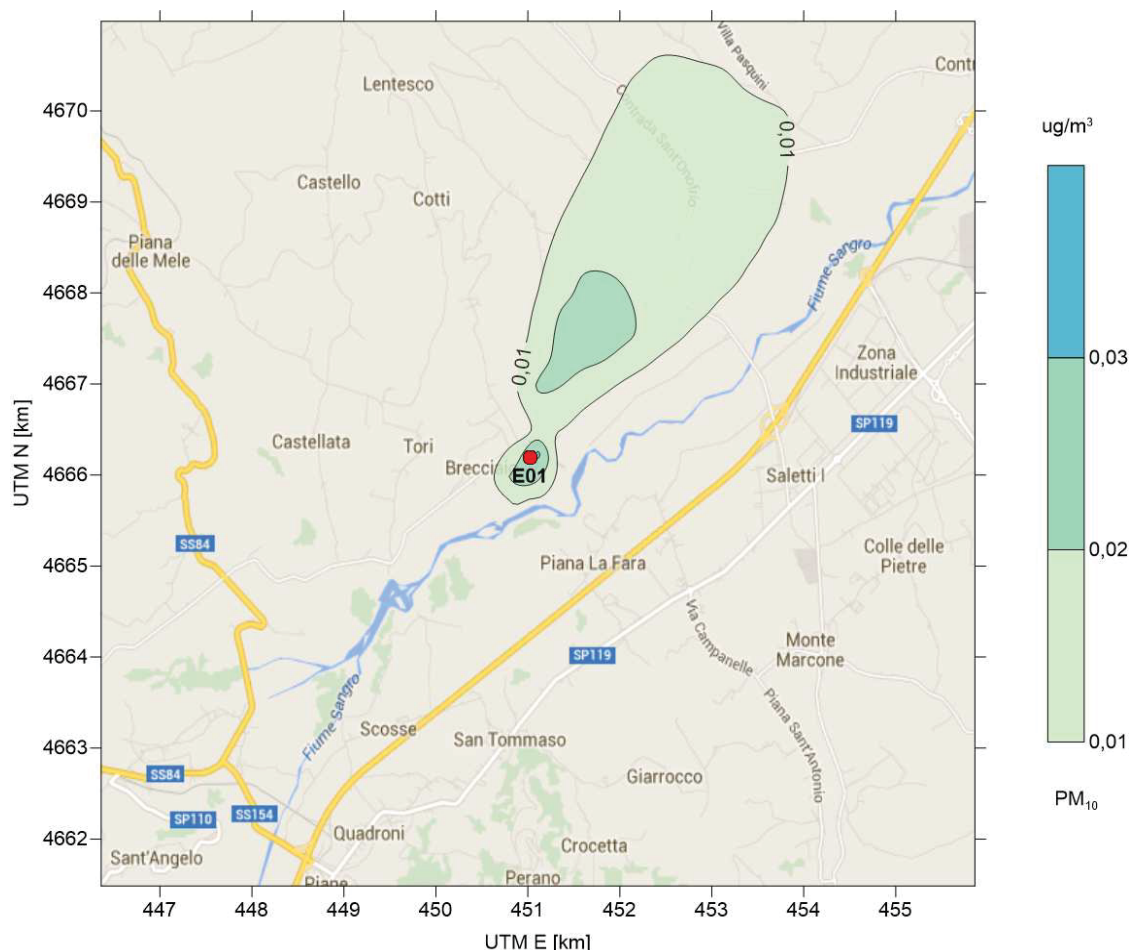


Figura 21: Concentrazione al suolo di polveri: valore medio annuo. Le concentrazioni sono espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I valori calcolati appartengono all'intervallo $[0.00066 \div 0.03193 \mu\text{g}/\text{m}^3]$ (al netto del valore di concentrazione di fondo). Il limite di riferimento per la concentrazione di polveri su base annua è pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Anche considerando il valor medio del fondo ($27 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sulla base dei risultati ottenuti il limite non risulta mai superato.

In Figura 22 sono rappresentati gli isocontorni al livello del suolo per le polveri totali valutati come massimo delle medie giornaliere (dati mediati su 24 ore) calcolate su un orizzonte temporale di un anno.

Gli isocontorni indicano che, al netto del livello di fondo di concentrazione di polveri, il massimo valore di concentrazione mediato sulle 24 ore è pari a circa $0.2577 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in corrispondenza del punto di massima ricaduta. Il limite di legge fissato dal DLgs 155/2010 per la concentrazione giornaliera di polveri è fissato a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, da non superare per più di 35 giorni nell'arco dell'anno. Sulla base dei risultati ottenuti, tenuto anche conto del valore medio annuo della concentrazione di polveri, non ci si aspettano sforamenti del valore limite di legge giornaliero.

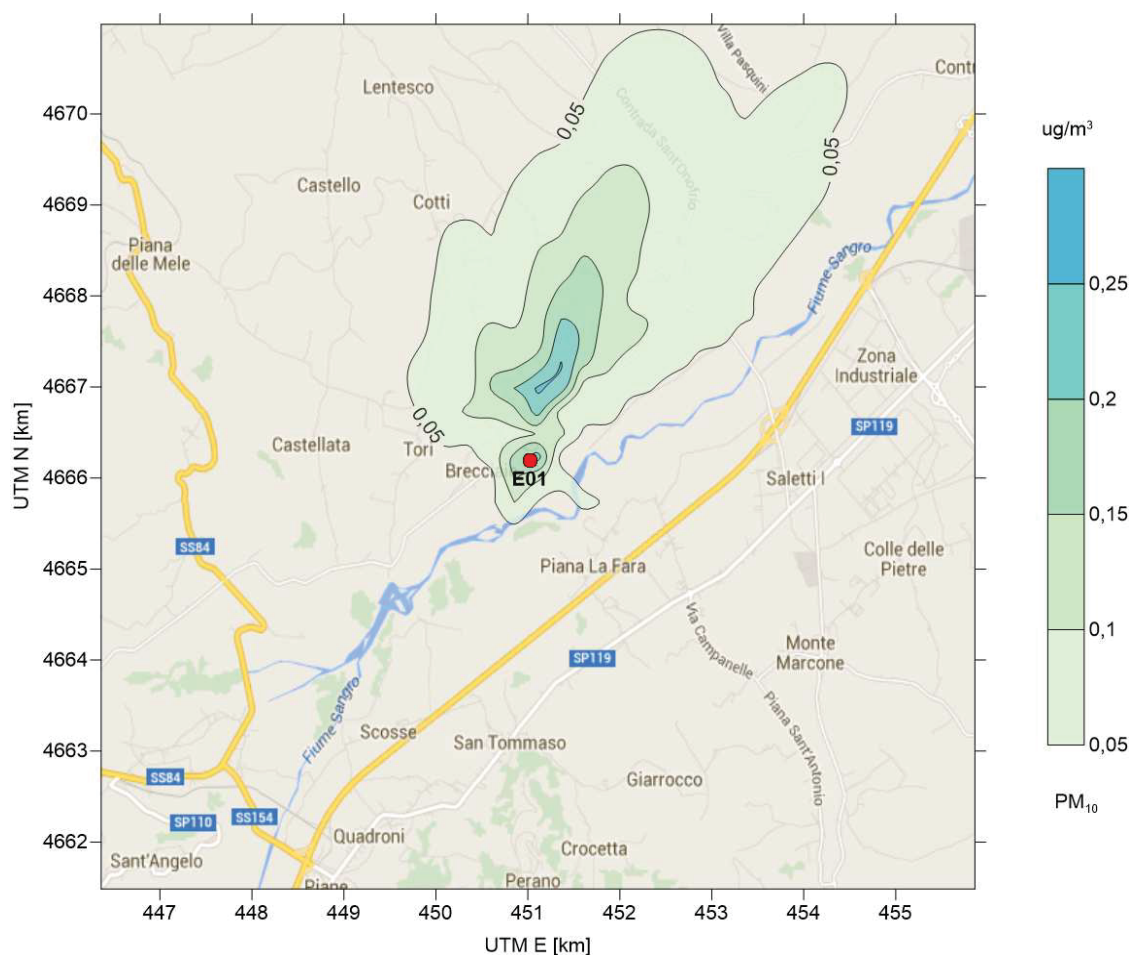


Figura 22: Concentrazione al suolo di polveri: valore massimo della concentrazione valutato su base giornaliera. Le concentrazioni sono espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I valori calcolati appartengono all'intervallo $[0.001838 \div 0.2577 \mu\text{g}/\text{m}^3]$ (al netto del valore di concentrazione di fondo). Il limite di riferimento per la concentrazione di polveri valutata su base giornaliera è pari a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Anche considerando il valor medio del fondo ($27 \mu\text{g}/\text{m}^3$), il limite di legge non risulta mai superato.

4.1.2 Ossido di carbonio

In Figura 23 è rappresentato l'isocontorno di concentrazione al livello del suolo per l'ossido di carbonio. Gli isocontorni rappresentano il valor medio annuo della concentrazione di ossido di carbonio espressa in mg/m^3 .

Gli isocontorni indicano che, al netto del livello di fondo di concentrazione di ossido di carbonio (per il quale non è stato possibile individuare un dato di riferimento), il valore medio annuo di concentrazione è pari al più a $638 \mu g/m^3$ in corrispondenza del punto di massima ricaduta.

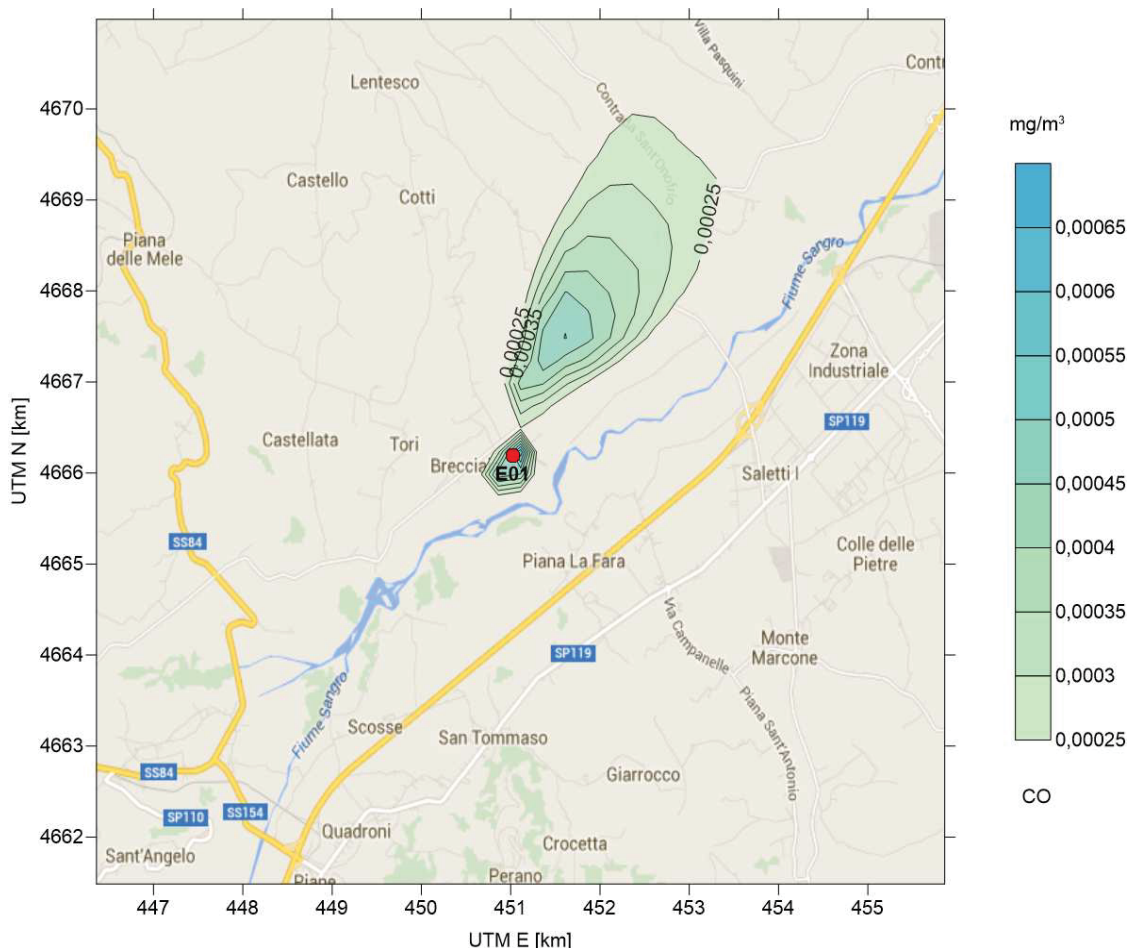


Figura 23: Concentrazione al suolo di CO : valore medio annuo. Le concentrazioni sono espresse in mg/m^3 . I valori calcolati appartengono all'intervallo $[0.0000011 \div 0.0006385 \text{ } mg/m^3]$ (al netto del valore di concentrazione di fondo). Non esiste limite di riferimento per la concentrazione di ossido di carbonio valutata come media annua.

In Figura 24 è rappresentato l'isocontorno di concentrazione al livello del suolo per l'ossido di carbonio valutato come massimo dei valori orari calcolato su un orizzonte temporale di un anno. Gli isocontorni indicano che, al netto del livello di fondo di concentrazione, il massimo valore orario di concentrazione di ossido di carbonio raggiunge un valore pari a $54.93 \mu g/m^3$ nella zona di massima ricaduta.

In Figura 25 è rappresentato l'isocontorno di concentrazione al livello del suolo per l'ossido di carbonio valutato come massimo dei valori mediati su 8 ore successive, calcolati su un orizzonte temporale di un anno. Il limite di legge per la concentrazione media annua, calcolata come valore medio su 8 ore, è fissato dal DLgs 155/2010 in $10 \text{ } mg/m^3$. Gli isocontorni indicano che, al netto del livello di fondo di concentrazione di ossido di carbonio, il valore massimo della media su 8 ore della concentrazione di ossido di carbonio è pari a circa $12.12 \mu g/m^3$ in corrispondenza del punto di massima ricaduta. Questo

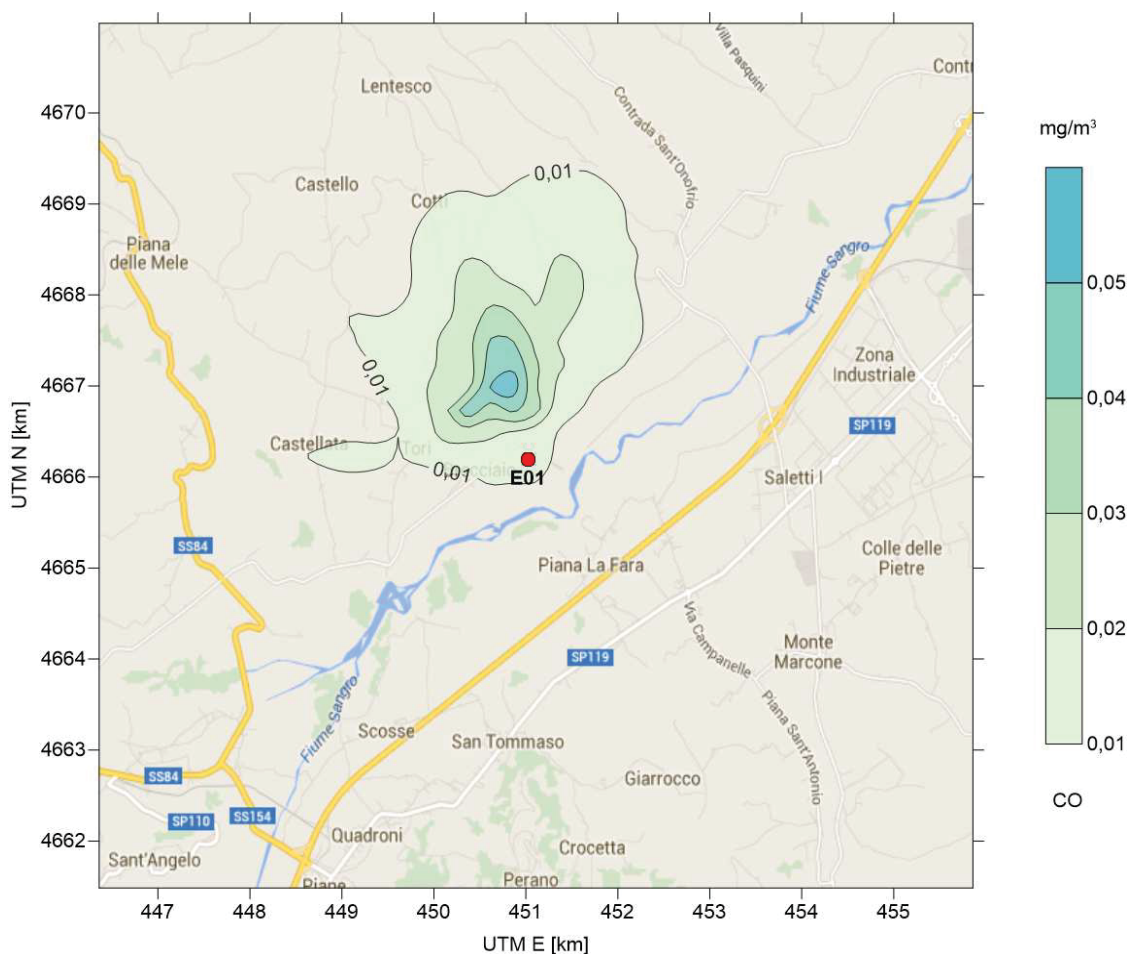


Figura 24: Concentrazione al suolo di CO : valore massimo delle concentrazioni valutate su base oraria. Le concentrazioni sono espresse in mg/m^3 . I valori calcolati appartengono all'intervallo $[0.000587 \div 0.05493 \text{ } mg/m^3]$ (al netto del valore di concentrazione di fondo). Non esiste un limite di riferimento per la concentrazione oraria di ossido di carbonio.

valore è abbastanza lontano dal valore di riferimento ($10 \text{ } mg/m^3$) da far ipotizzare che probabilmente non ci saranno sforamenti del limite di legge a meno di elevati valori di concentrazione di CO nel livello di fondo.

In Figura 26 è rappresentato l'isocontorno di concentrazione al livello del suolo per l'ossido di carbonio valutato come massimo delle medie giornaliere su un orizzonte temporale di un anno. Gli isocontorni indicano che, al netto del livello di fondo, il valore massimo giornaliero di concentrazione di ossido di carbonio è pari a circa $5.153 \text{ } \mu g/m^3$ in corrispondenza del punto di massima ricaduta.

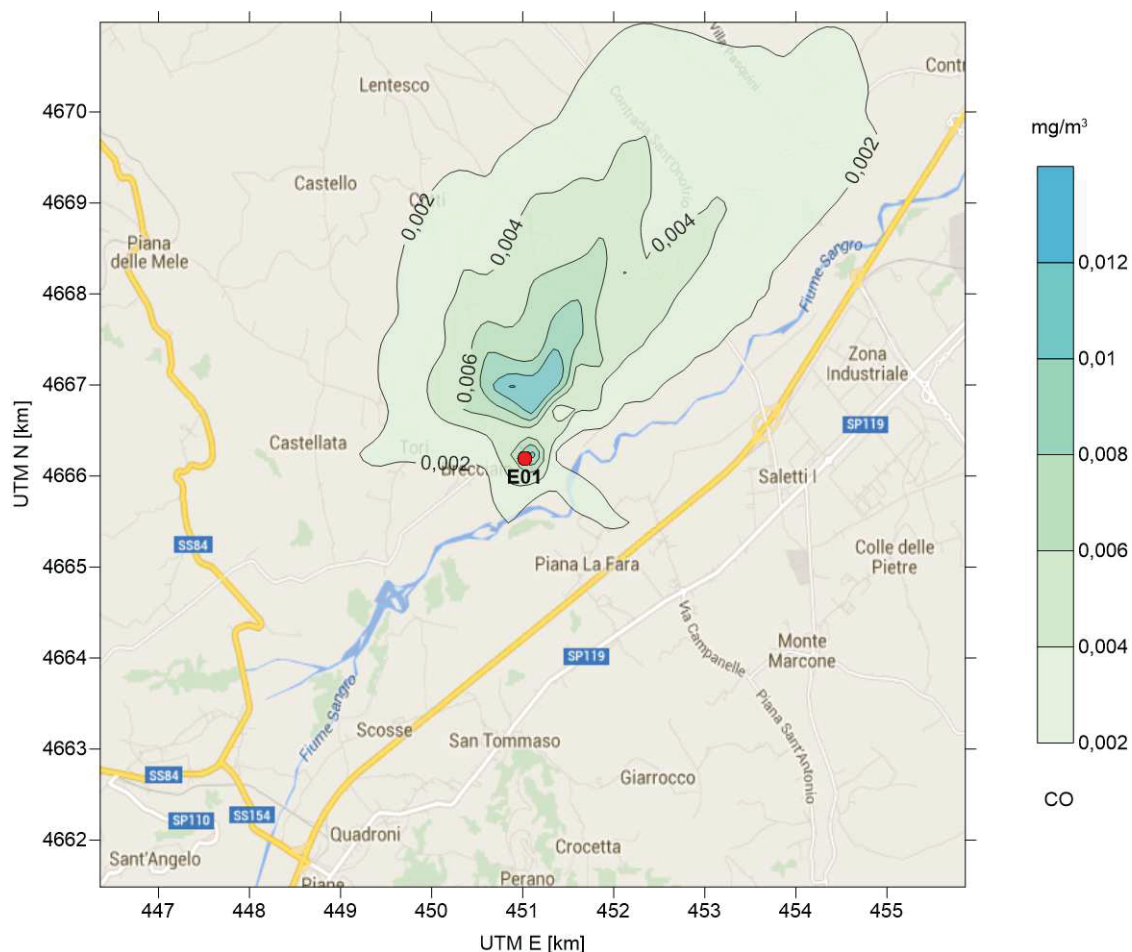


Figura 25: Concentrazione al suolo di CO : valore massimo della concentrazione valutata come media sul periodo di 8 ore. Le concentrazioni sono espresse in mg/m^3 . I valori calcolati appartengono all'intervallo $[0.00007 \div 0.01212 \text{ } mg/m^3]$ (al netto del valore di concentrazione di fondo). Il limite di riferimento per la concentrazione di ossido di carbonio valutata su 8 ore, pari a $10 \text{ } mg/m^3$, non viene mai superato.

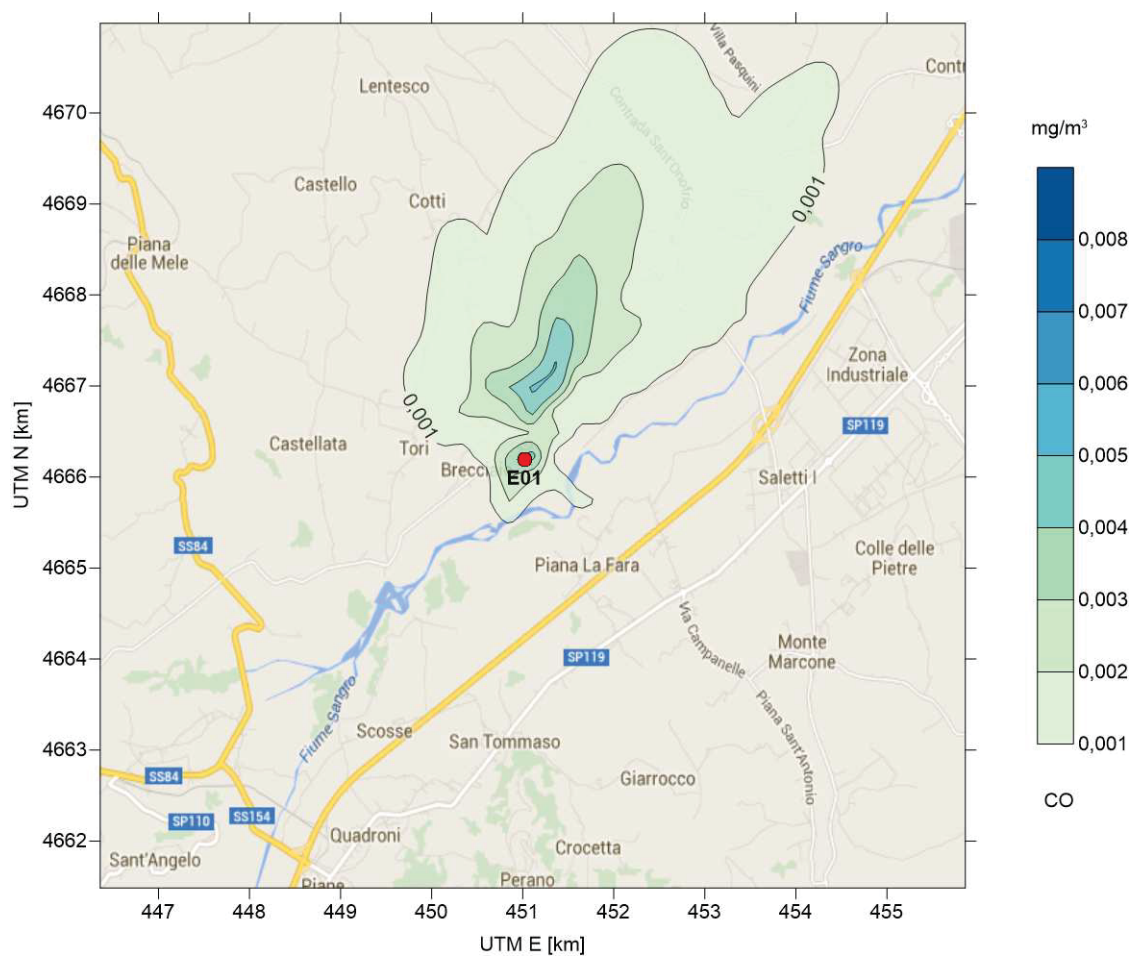


Figura 26: Concentrazione al suolo di CO : valore massimo della concentrazione valutata come media sul giorno. Le concentrazioni sono espresse in mg/m^3 . I valori calcolati appartengono all'intervallo $[0,000036 \div 0,005153 \text{ } mg/m^3]$ (al netto del valore di fondo). Non esiste limite di riferimento per la concentrazione giornaliera di ossido di carbonio.

4.1.3 Ossidi di azoto

In Figura 27 è rappresentato l'isocontorno di concentrazione al livello del suolo per gli ossidi di azoto. Gli isocontorni rappresentano il valor medio annuo della concentrazione oraria di ossidi di azoto espressa in $\mu g/m^3$. Il limite di legge per la concentrazione media annua del biossido di azoto è fissato dal DLgs 155/2010 in $40 \mu g/m^3$ (valore orario). Dal Piano di Tutela della Qualità dell'aria riferito a dati del 2007 è possibile desumere un valore di riferimento medio per la concentrazione di fondo degli ossidi di azoto pari a $25 \mu g/m^3$ nella zona di Lanciano.

Considerando cautelativamente che tutto l' NO_x si trasformi in NO_2 , gli isocontorni indicano che, al netto del livello di fondo di concentrazione di ossidi di azoto, il valore medio annuo è pari a circa $2.235 \mu g/m^3$ in corrispondenza del punto di massima ricaduta. Anche considerando il valore medio del fondo, non esistono punti del dominio in cui il limite di legge risulti superato.

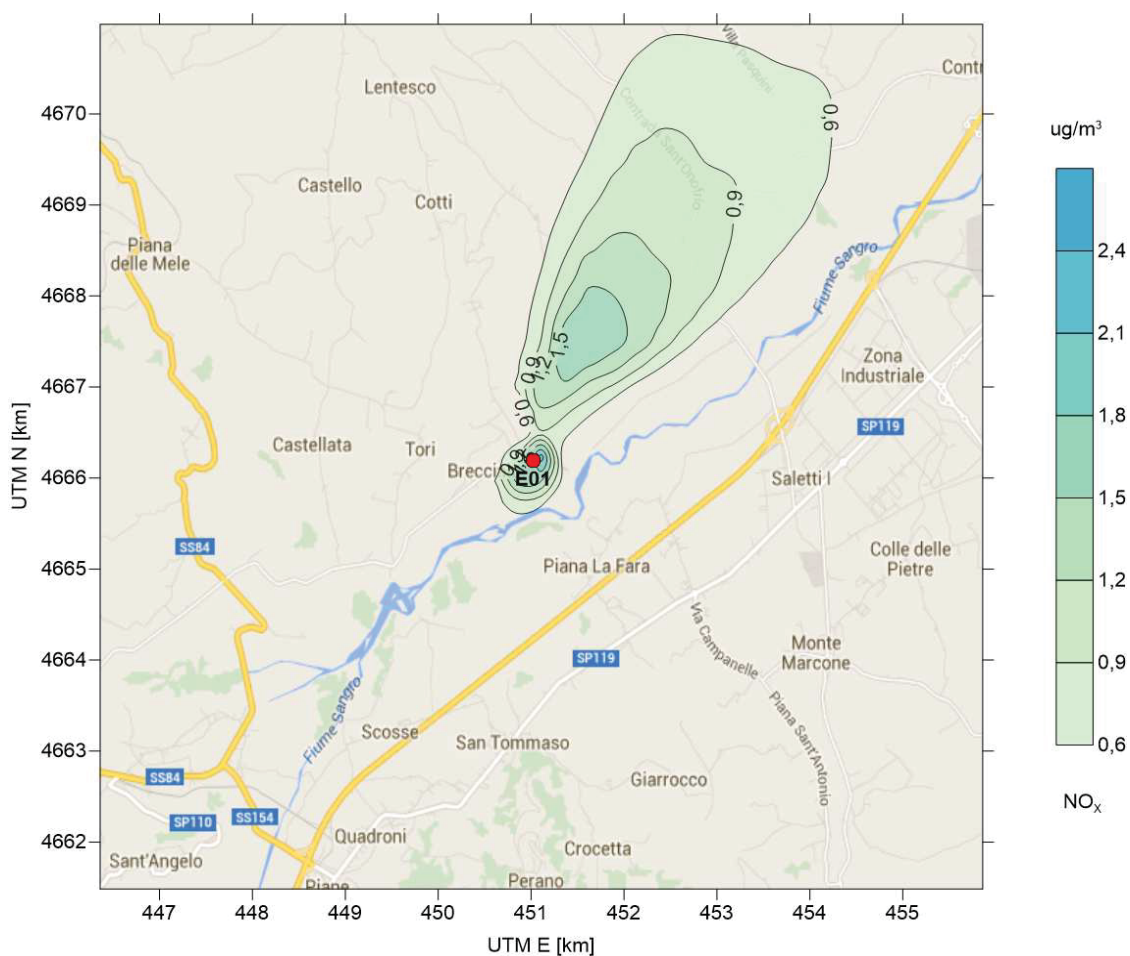


Figura 27: Concentrazione al suolo di NO_x : valore medio annuo. Le concentrazioni sono espresse in $\mu g/m^3$. I valori calcolati appartengono all'intervallo $[0.004668 \div 2.235 \mu g/m^3]$ (al netto del valore di fondo). Il limite di riferimento per la concentrazione di NO_x valutata come media annua, è pari a $40 \mu g/m^3$. Anche considerando il valor medio del fondo ($25 \mu g/m^3$), il limite di riferimento non risulta mai superato.

In Figura 28 è rappresentato l'isocontorno di concentrazione al livello del suolo per gli ossidi di azoto valutato come massimo valore orario calcolato su un orizzonte temporale di un anno. Gli isocontorni indicano che, al netto del livello di fondo di concentrazione di ossidi di azoto, il massimo valore orario di concentrazione di ossidi di azoto è pari a circa $192.3 \mu g/m^3$ in corrispondenza del punto di massima ricaduta. Il limite di legge previsto dal DLgs 155/2010 per il valore orario di ossidi di azoto è pari a

$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Considerato il valore medio di fondo della concentrazione di ossidi di azoto, è possibile che in almeno un'ora dell'anno in una zona ristretta del dominio (1100 m a Nord rispetto all'impianto) possano essere raggiunti valori di concentrazione di ossidi di azoto che determinano il superamento del limite di legge.

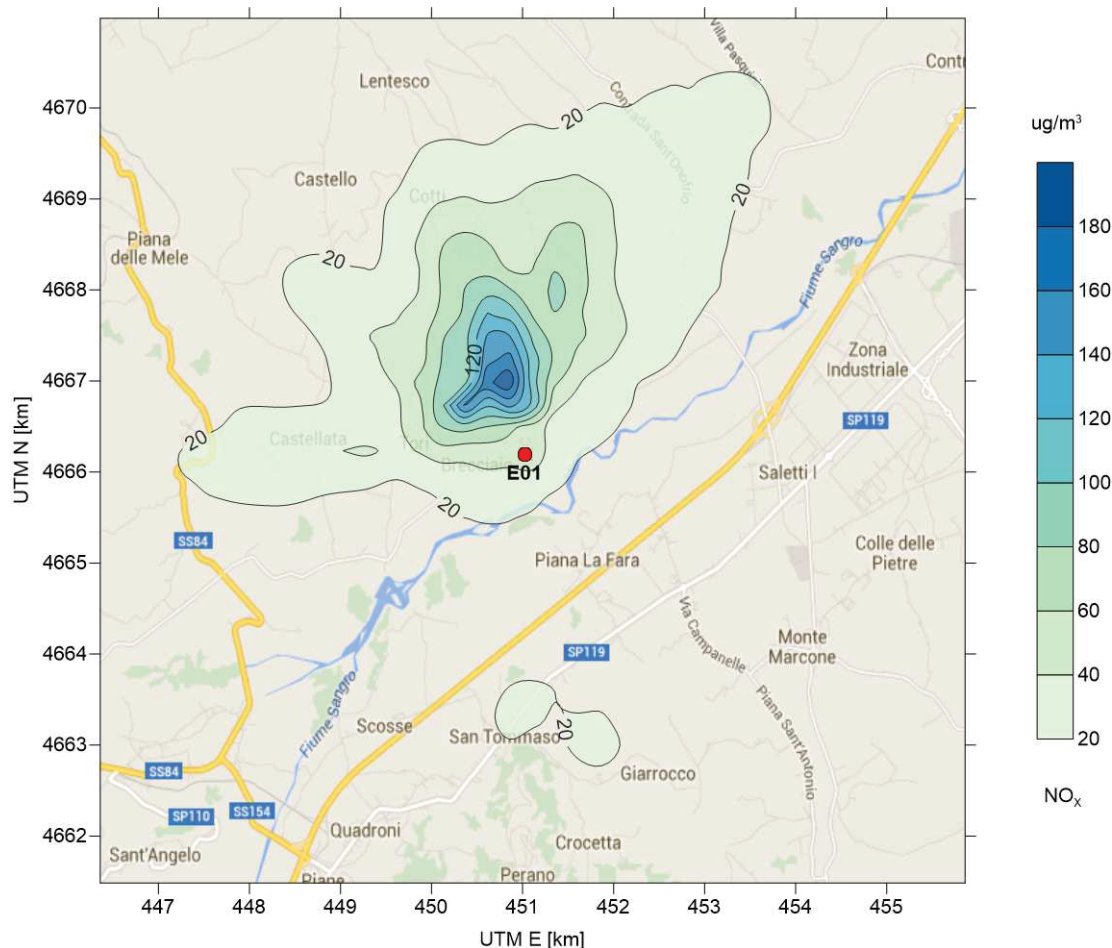


Figura 28: Concentrazione al suolo di NO_x : valore massimo delle concentrazioni valutate su base oraria. Le concentrazioni sono espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I valori calcolati appartengono all'intervallo $[1.356 \div 192.3 \mu\text{g}/\text{m}^3]$ (al netto del valore del fondo, mediamente pari a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Il limite di riferimento per la concentrazione di ossidi di azoto valutata su base oraria, pari a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, potrebbe risultare superato in almeno un'ora nell'anno nella zona 1.2 km a nord dell'impianto.

4.2 Ricaduta in corrispondenza dei recettori sensibili

La variazione del livello di qualità dell'aria prodotto dall'attivazione della Piattaforma Innovativa per la Generazione e il Recupero di Energia da Combustibili Alternativi è stata valutata in corrispondenza di una serie di punti di riferimento già individuati in Figura 4:

- R0: posizione prossima al punto emissivo (camino);
- R1, casa isolata, 200 m in direzione Nord;
- R2, insediamento urbano di Tori, 2100 m a Ovest-Sud-Ovest;
- R3, insediamento urbano di Brecciaio, 1500 m a Sud-Ovest;
- R4, insediamento urbano di Piana La fara, 1600 m a Sud;
- R5, insediamento urbano di Sant'Onofrio, 1600 m a Nord-Nord-Est;

- R6, specchio d'acqua artificiale prossimo all'impianto, 1000 m a Est-Nord-Est;
- SIC 1: IT7140112 Bosco di MozzaGrogna;
- SIC 2: IT7140215 Lago di Serranella e Colline di Guarenna.

Per i SIC 1 e 2, il punto dell'area SIC più prossimo all'impianto è stato considerato punto di riferimento in cui valutare la variazione della qualità dell'aria.

Per ogni diverso inquinante, la serie dei valori orari di concentrazione calcolati dal modello in corrispondenza dei recettori sensibili è stata elaborata per valutare in termini statistici l'effetto di variazione di qualità dell'aria attribuibile al nuovo impianto. Il tipo di rappresentazione grafica adottato è quello del boxplot, attraverso il quale le caratteristiche principali della distribuzione statistica dei dati vengono sintetizzate nella forma del grafico (Helsel & Hirsch, 2002). In Figura 29 è rappresentata la forma tipica di un boxplot con le indicazioni delle grandezze statistiche associate alla forma geometrica rappresentata. Il segmento orizzontale al centro del box identifica la mediana della distribuzione, i lati superiore e inferiore del box i quantili 75-esimo e 25-esimo; i segmenti verticali sopra e sotto il box identificano l'intervallo di variazione dei dati (80% centrale, compreso tra 10-imo e 90-esimo percentile); il cerchio rappresenta il valore medio della serie. La forma del box permette di ricavare informazioni sulla posizione centrale, sulla dispersione e sull'asimmetria della distribuzione.

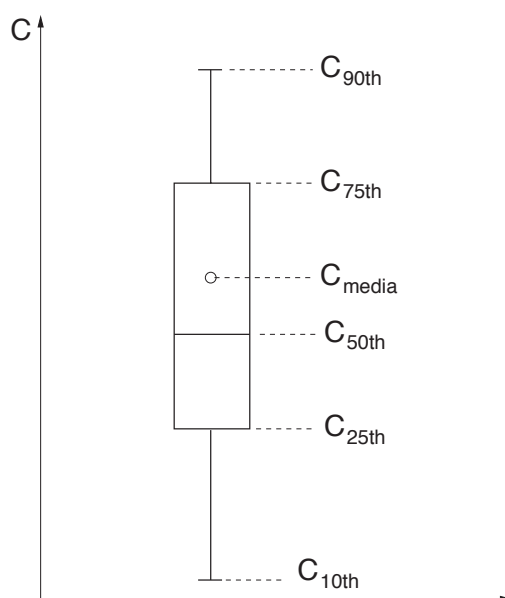


Figura 29: Forma del boxplot utilizzato per sintetizzare graficamente le caratteristiche della serie temporale di concentrazione in corrispondenza dei recettori sensibili: il segmento orizzontale al centro del box identifica la mediana, i lati superiore e inferiore del box i quantili 75-esimo e 25-esimo; i segmenti verticali sopra e sotto il box identificano l'intervallo di variazione dei dati (80% centrale). Il punto rappresenta il valore medio della serie.

In Figura 30 è rappresentato lo stato della qualità dell'aria in riferimento alle concentrazioni di polveri. Il valore limite con cui confrontare la concentrazione delle polveri su base oraria potrebbe essere quello relativo alla media giornaliera ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$); questo valore risulta essere molto maggiore rispetto ai valori orari rilevati.

Dal confronto dei boxplot che rappresentano la concentrazione di polveri si vede che la loro forma è abbastanza diversa da quella mostrata in Figura 29. In particolare, la parte inferiore del boxplot è praticamente assente, essendo la maggior parte dei dati di concentrazione (più del 75% per R2, R3 e SIC2) a valore nullo. Si osserva che in corrispondenza dei recettori R0, R1, R5 e SIC1, situati sottovento rispetto alla direzione prevalente del vento, la variabilità del dato di concentrazione è più pronunciata che per gli altri recettori. In ognuno dei recettori, l'attività dell'impianto non risulta produrre variazioni

significative della qualità dell'aria, con concentrazioni orarie delle polveri ben al di sotto del valore limite (giornaliero) nel 100% delle ore dell'anno.

La media annua delle concentrazioni, rappresentata dall'asterisco, rimane comunque ben al di sotto al valore limite delle concentrazioni orarie calcolate su base annua ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

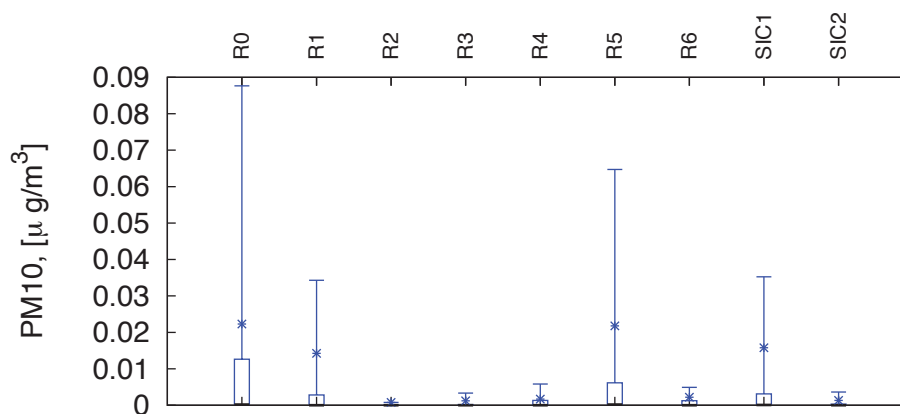


Figura 30: Variazione della qualità dell'aria attesa a seguito dell'attivazione dell'impianto: distribuzione statistica della concentrazione di polveri al suolo in corrispondenza dei SIC e dei recettori sensibili. Il limite di riferimento per la concentrazione di polveri su base annua è pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

In Tabella 8 sono sintetizzati i valori statistici utilizzati per costruire i boxplot.

Sito	Media [$\cdot 10^{-2}$]	Var. [$\cdot 10^{-4}$]	Dev.std [$\cdot 10^{-2}$]	Min [$\cdot 10^{-4}$]	P_{10} [$\cdot 10^{-4}$]	P_{25} [$\cdot 10^{-4}$]	P_{50} [$\cdot 10^{-4}$]	P_{75} [$\cdot 10^{-3}$]	P_{90} [$\cdot 10^{-2}$]	Max [$\cdot 10^{-2}$]
R0	2.228	23.71	4.869	0.0000	0.0000	0.0000	1.656	12.62	8.766	8.766
R1	1.422	20.90	4.571	0.0000	0.0000	0.0000	0.1008	2.805	3.430	3.430
R2	0.07763	0.4178	0.6464	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.07832	0.07832
R3	0.1218	0.2343	0.4841	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1833	0.3319	0.3319
R4	0.1684	0.2813	0.5303	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.323	0.5816	0.5816
R5	2.176	39.94	6.320	0.0000	0.0000	0.0000	1.951	6.137	6.471	6.471
R6	0.2192	0.9475	0.9734	0.0000	0.0000	0.0000	0.02129	1.229	0.4897	0.4897
SIC1	1.578	23.91	4.889	0.0000	0.0000	0.0000	0.6233	3.129	3.526	3.526
SIC2	0.1318	0.3160	0.5621	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3104	0.3635	0.3635

Tabella 8: Statistiche relative alla concentrazione di polveri calcolate in corrispondenza dei SIC e dei recettori sensibili R0-R6. I valori sono espressi in $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ ($[\mu\text{g}/\text{m}^3]^2$ per la varianza) e vanno moltiplicati per il fattore indicato in riga 2.

In Figura 31 è rappresentata la variazione dello stato della qualità dell'aria nei due SIC e presso i recettori R0-R6 in riferimento alle concentrazioni di ossido di carbonio. Anche in questo caso, l'attività dell'impianto non produce variazioni significative della qualità dell'aria, con concentrazioni di ossido di carbonio ben al di sotto del valore limite (media su 8 ore dei valori orari, pari a $10 \text{ mg}/\text{m}^3$).

In Tabella 9 sono sintetizzati i valori statistici utilizzati per costruire i boxplot.

In Figura 32 è rappresentato lo stato di qualità dell'aria a seguito dell'attivazione della nuova linea in corrispondenza dei SIC e dei recettori sensibili in riferimento alla concentrazione di biossido di azoto. La variazione della qualità dell'aria è ancora del tutto trascurabile, con concentrazioni degli ossidi di azoto comunque al di sotto del valore limite (limite orario, pari a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

In Tabella 10 sono sintetizzati i valori statistici utilizzati per costruire i boxplot.

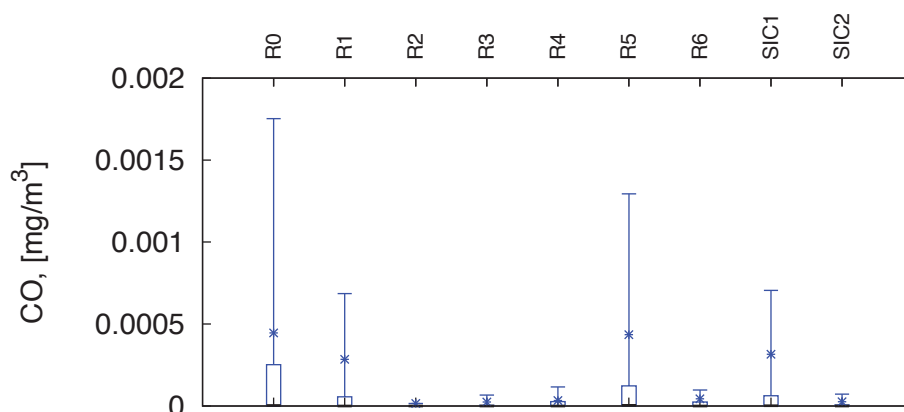


Figura 31: Variazione della qualità dell'aria attesa a seguito dell'attivazione del nuovo impianto: distribuzione statistica della concentrazione di ossido di carbonio al suolo in corrispondenza dei SIC e dei recettori sensibili. Il limite di riferimento per la concentrazione di ossido di carbonio (media su 8 ore) è pari a 10 mg/m^3 .

Sito	Media [$\cdot 10^{-4}$]	Var. [$\cdot 10^{-7}$]	Dev.std [$\cdot 10^{-3}$]	Min [$\cdot 10^{-6}$]	P_{10} [$\cdot 10^{-6}$]	P_{25} [$\cdot 10^{-6}$]	P_{50} [$\cdot 10^{-6}$]	P_{75} [$\cdot 10^{-5}$]	P_{90} [$\cdot 10^{-4}$]	Max [$\cdot 10^{-4}$]
R0	4.455	9.483	0.9738	0.0000	0.0000	0.0000	3.312	25.23	17.53	17.53
R1	2.844	8.359	0.9143	0.0000	0.0000	0.0000	0.2016	5.610	6.860	6.860
R2	0.1553	0.1671	0.1293	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1566	0.1566
R3	0.2436	0.09373	0.09681	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3666	0.6638	0.6638
R4	0.3367	0.1125	0.1061	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.646	1.163	1.163
R5	4.353	15.98	1.264	0.0000	0.0000	0.0000	3.902	12.27	12.94	12.94
R6	0.4383	0.3790	0.1947	0.0000	0.0000	0.0000	0.04259	2.459	0.9794	0.9794
SIC1	3.155	9.563	0.9779	0.0000	0.0000	0.0000	1.247	6.258	7.052	7.052
SIC2	0.2636	0.1264	0.1124	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.6208	0.7271	0.7271

Tabella 9: Statistiche relative alla concentrazione di ossido di carbonio calcolate in corrispondenza dei SIC e dei recettori sensibili R0-R6. I valori sono espressi in $[\text{mg/m}^3]$ ($[\text{mg/m}^3]^2$ per la varianza) e vanno moltiplicati per il fattore indicato in riga 2.

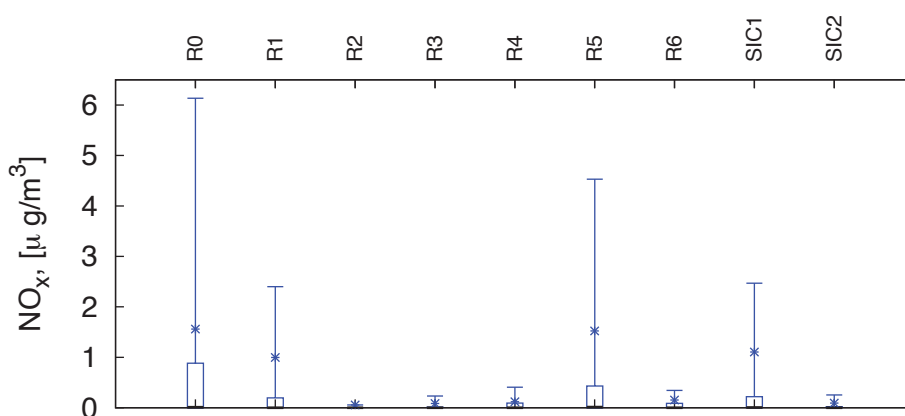


Figura 32: Variazione della qualità dell'aria attesa a seguito dell'attivazione del nuovo impianto: distribuzione statistica della concentrazione di ossidi di azoto al suolo in corrispondenza dei SIC e dei recettori sensibili. Il limite di riferimento per la concentrazione di ossidi di azoto su base oraria è pari a 200 µg/m^3 .

Sito	Media [$\cdot 10^{-1}$]	Var. [$\cdot 10^0$]	Dev.std [$\cdot 10^0$]	Min [$\cdot 10^0$]	P_{10} [$\cdot 10^0$]	P_{25} [$\cdot 10^0$]	P_{50} [$\cdot 10^{-3}$]	P_{75} [$\cdot 10^{-1}$]	P_{90} [$\cdot 10^0$]	Max [$\cdot 10^0$]
R0	15.59	11.62	3.408	0.0000	0.0000	0.0000	11.59	8.832	6.136	6.136
R1	9.953	10.24	3.200	0.0000	0.0000	0.0000	0.7057	1.963	2.401	2.401
R2	0.5434	0.2047	0.4525	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.05482	0.05482
R3	0.8527	0.1148	0.3388	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1283	0.2323	0.2323
R4	1.179	0.1378	0.3712	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9261	0.4071	0.4071
R5	15.23	19.57	4.424	0.0000	0.0000	0.0000	13.66	4.296	4.530	4.530
R6	1.534	0.4643	0.6814	0.0000	0.0000	0.0000	0.1491	0.8606	0.3428	0.3428
SIC1	11.04	11.71	3.423	0.0000	0.0000	0.0000	4.363	2.190	2.468	2.468
SIC2	0.9225	0.1548	0.3935	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2173	0.2545	0.2545

Tabella 10: Statistiche relative alla concentrazione di ossido di azoto calcolate in corrispondenza dei SIC e dei recettori sensibili R0-R6. I valori sono espressi in $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ ($[\mu\text{g}/\text{m}^3]^2$ per la varianza) e vanno moltiplicati per il fattore indicato in riga 2.

5 Conclusioni

La realizzazione della Piattaforma Innovativa per la Generazione e il Recupero di Energia da Combustibili Alternativi in Contrada Brecciaio, Sant'Eusanio del Sangro, Lanciano (CH) rientra tra le azioni previste nel quadro dell'uso sostenibile del combustibile solido secondario (CSS) promosso dal protocollo d'intesa che la Regione Abruzzo ha firmato con il Consorzio Ecocarbon.

L'impianto è stato progettato per recuperare energia da combustibile solido secondario e produrre energia elettrica. Il processo alla base del recupero energetico da combustibile solido secondario si basa sulla pirolisi del CSS attivata per effetto Joule in un sistema di caricamento a coclea. La possibilità di controllare il profilo termico del combustibile e i tempi di permanenza dello stesso in camera di combustione in funzione della tipologia di materiale da termovalorizzare permettono di garantire un'ottimale recupero energetico e basse emissioni inquinanti.

Ai fini autorizzativi l'impianto è soggetto alle prescrizioni dettate dall'art. 15 del DLgs 46/2014 (Modifiche al Titolo III della Parte Quarta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni). A monte della fornitura dell'impianto, si è deciso di predisporre uno studio di valutazione di impatto finalizzato a quantificare le possibili ricadute sul territorio circostante delle emissioni derivanti dal funzionamento a regime dello stesso. Lo studio è stato affidato al Dipartimento di Chimica, Fisica e Ambiente dell'Università degli Studi di Udine.

Lo studio era finalizzato a:

1. identificare un valore di altezza del camino di emissione idonea a minimizzare la ricaduta in prossimità dell'impianto;
2. quantificare la ricaduta di inquinanti (polveri, ossido di azoto e ossido di carbonio) attesa nel territorio circostante in condizioni di funzionamento a regime dell'impianto.

I modelli utilizzati per realizzare lo studio, Screen3 e Calpuff, rappresentano modelli di stato dell'arte nella letteratura tecnico-scientifica di riferimento e sono diffusamente utilizzati a livello nazionale e internazionale.

Lo studio è stato condotto su un'area di 10×10 km centrata in corrispondenza dell'impianto considerando un orizzonte temporale annuo. Per l'acquisizione dei dati necessari si è deciso di utilizzare basi di dati aperte. In particolare:

- per la caratterizzazione orografica del sito è stato interrogato l'archivio informatizzato dei dati della United States Geological Survey (USGS): https://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/Eurasia/
- per la definizione dello scenario meteorologico sono stati utilizzati
 - per i dati di superficie (stazione anemometrica di Pescara) l'archivio meteorologico globale gestito dal NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) degli Stati Uniti: <http://www.src.com/calpuff/data/surface.html>
 - per i dati di quota (stazione radiosondaggi di Brindisi) l'archivio gestito dall'Università del Wyoming: <http://weather.uwyo.edu/upperair/europe.html>

Per la definizione dello scenario emissivo sono stati utilizzati i dati forniti da SmarTeam s.r.l..

L'analisi preliminare di due annualità di dati meteorologici di superficie (2013 e 2014) ha permesso di identificare il 2014 come anno rappresentativo della variabilità meteorologica tipica della zona.

L'analisi dettagliata del regime dei venti ha permesso di identificare alcuni tratti caratteristici del campo di vento (esistenza di una direzione del vento prevalente, periodicamente variabile nel corso della giornata) e di ricostruire il campo di vento e di dispersione nella zona di studio tenendo conto dell'effetto che l'orografia della valle del Sangro ha sulla variabilità locale del campo di vento.

Il modello Screen3 ha quindi permesso di stimare distanze e concentrazioni di massima ricaduta attese per gli inquinanti emessi al variare dell'altezza del punto emissivo (camino) e nelle diverse condizioni meteorologiche. Quest'analisi ha portato a definire in modo conservativo l'altezza del punto emissivo pari a 18 m.

Il modello Calpuff ha permesso di seguire la dispersione degli inquinanti emessi dal camino tenendo conto della variabilità istantanea e locale del campo di vento. I risultati della modellazione, rappresentati in termini di mappe di ricaduta, hanno permesso di concludere che:

1. l'emissione di polveri non produce impatti rilevanti nè su base annua (concentrazione media annua di polveri nel punto di massima ricaduta pari a $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a fronte di valori limite di legge pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nè su base oraria (concentrazione massima oraria nel punto di massima ricaduta pari a $0.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a fronte di valori limite di legge pari a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$); anche tenendo conto del valore di concentrazione media annua di fondo valutata per le polveri in $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (dato derivato dal Piano Piano di Tutela della Qualità dell'aria del 2007) le ricadute dovute alle polveri emesse dall'impianto non determineranno modifiche significative del livello di qualità dell'aria della zona;
2. l'emissione di ossido di carbonio non produce impatti rilevanti nè su base annua (valore medio annuo di concentrazione pari a circa $0.001 \text{ mg}/\text{m}^3$ in corrispondenza del punto di massima ricaduta) nè nel breve termine (valore massimo della media su 8 ore della concentrazione di ossido di carbonio e pari a $0.01967 \text{ mg}/\text{m}^3$ nel punto di massima ricaduta a fronte di valori limite di legge pari a $10 \text{ mg}/\text{m}^3$);
3. l'emissione di ossido di azoto non produce impatti rilevanti su base annua (valore medio annuo pari a $3.628 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nel punto di massima ricaduta a fronte di valori limite di legge pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$); nel breve termine, non si registrano superamenti del massimo valore orario in zone specifiche del dominio (massimo valore orario di concentrazione di ossidi di azoto pari a circa $192.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in corrispondenza del punto di massima ricaduta, situato $\simeq 1200$ m a Nord rispetto all'impianto, a fronte di valori limite di legge pari a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$); tenendo conto del valore di concentrazione media annua di fondo valutata per gli ossidi di azoto in $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (dato derivato dal Piano Piano di Tutela della Qualità dell'aria del 2007) le ricadute dovute agli ossidi di azoto emessi dall'impianto non determineranno modifiche significative del livello di qualità dell'aria della zona; è tuttavia possibile che in almeno un'ora dell'anno nella zona ristretta del dominio (1200 m a Nord rispetto all'impianto) possano essere raggiunti valori di concentrazione di ossidi di azoto che determinano il superamento del limite di legge.

La valutazione d'impatto per i recettori sensibili posizionati in corrispondenza del confine prossimo all'impianto per i SIC della zona e in corrispondenza dei recettori sensibili (impianto, la casa isolata posta a ridosso dell'impianto, insediamenti urbani di Tori, Brecciaio, Piana La Fara e Sant'Onofrio e in corrispondenza dello specchio d'acqua artificiale situato in prossimità dell'impianto), indica che non sono attese variazioni significative della qualità dell'aria.

Riferimenti bibliografici

- [1] Nomisma Energia s.r.l., Potenzialità e benefici dall'impiego dei Combustibili Solidi Secondari (CSS) nell'industria, 2011.
- [2] Laird, D.A., Brown, R.C., Amonette, J.E. and Lehmann, J., (2009), Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar, *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 3(5): 547-562.
- [3] Al-Salem, S.M., Lettieri, P., Baeyens, J., (2009), Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review, *Waste Management*, 29(10): 2625-2643.
- [4] SCREEN3 Model User's Guide, EPA-454/B-95-004 U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring, and Analysis Division, Research Triangle Park, North Carolina 27711 September 1995
- [5] Turner, D.B., 1970. Workbook of atmospheric dispersion estimates. Revised, Sixth printing, Jan 1973. Office of Air Programs Publication No.AP-26.
- [6] Piano Regionale per la Tutela della Qualità dell'Aria, 2007 Assessorato Parchi Territorio Ambiente Energia, Regione Abruzzo.
- [7] U.S. Environmental Protection Agency, 1993, "Interagency Workgroup on Air Quality Modeling (IWAQM) Phase 1 Report: Interim Recommendation for Modeling Long Range Transport and Impacts on Regional Visibility", EPA-454/R-93-015. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC.
- [8] U.S. Environmental Protection Agency, 1995, "Testing of Meteorological and Dispersion Model for Use in Regional Air Quality Modeling", EPA-454/R-95-005. U.S. Environmental Protection Agency, Atmospheric Research and Exposure Assessment Laboratory, Research Triangle Park, NC.
- [9] Scire J.S., Strimaitis D.G., Yamartino R.J., "A User's Guide for the Calpuff dispersion model", Earth Tech Inc., January 2000.
- [10] Scire J.S., Robe F.R., Fernau M.E., Yamartino R.J., "A User's Guide for the Calmet meteorological model", Earth Tech Inc., January 2000.
- [11] Helsel D.R., Hirsch R.M., 2002. "Statistical Methods in Water Resources: Techniques of Water Resources Investigations", U.S. Geological Survey.
- [12] Lees F.P., Loss Prevention In The Process Industries, (1986), Butterworth & Co.
- [13] Deserti M., Lollobrigida F., Angelino E., "CTN-ACE, Obiettivo Specifico 09.02: Elaborazione di linee guida per la selezione e l'uso dei modelli, Tk 09.02.03a: Linee guida per la scelta e l'uso dei modelli Rapporto 2004, I modelli per la valutazione e gestione della qualità dell'aria: normativa, strumenti, applicazioni".