

A&A DEPURATORE ACQUE REFLUE SITO NEL COMUNE DI CECCANO (FR).

Valutazione Impatto di ricaduta odorigeni.

Sommario

Premessa.....	2
Le caratteristiche delle fonti emissive	8
La diffusione atmosferica	12
La situazione meteorologica dell'area.....	16
La situazione orografica	24
I risultati delle simulazioni.....	25
Conclusioni	34
Allegati	35



Premessa

Il Consorzio per lo Sviluppo Industriale di Frosinone, giusto contratto del 14 luglio 2016 Rep. 53713, ha affidato in house providing alla società AEA Srl il “servizio di gestione, conduzione e manutenzione ordinaria e straordinaria degli impianti di depurazione delle acque reflue civili ed industriali, delle stazioni di sollevamento al servizio delle reti fognarie e dei sistemi impiantistici afferenti alla distribuzione della risorsa idrica a fini industriali e civili del Consorzio per lo Sviluppo Industriale Frosinone”.

La società AEA Srl, al fine di migliorare in termini di efficienza ed efficacia il servizio di gestione e mitigare eventuali impatti ambientali, ha presentato un piano finalizzato all'attuazione di “Misure per il miglioramento della tutela ambientale dell'agglomerato di Frosinone”, approvato con Deliberazione di CdA n.21 del 09.02.2017 da parte del Consorzio ASI Frosinone.

Nell'ambito degli interventi è prevista l'installazione di un sistema di aspirazione e trattamento aria a servizio dei comparti di ispessimento fanghi e del locale di disidratazione fanghi, nonché il confinamento di sezioni di impianto al fine di ridurre le emissioni diffuse presso l'impianto in oggetto.

Al fine di valutare l'impatto odorigeno eventualmente prodotto dall'impianto, la AEA srl ha previsto un monitoraggio e la relativa simulazione di ricaduta a monte e a valle degli interventi suddetti.

L'oggetto di questo studio è la stima dell'impatto odorigeno che il depuratore di A&A nel comune di Ceccano determina nell'area circostante.

Non si ha la pretesa di individuare tutte le possibili ricadute, stante il fatto che in molti casi queste vengono determinate da situazioni meteorologiche particolari e che avvengono con bassissima frequenza, con combinazioni di fattori, quali direzione dei venti, irraggiamento e impatto orografico che verranno illustrati in seguito; in particolare è stata inserita una simulazione “artificiale” per valutare gli effetti della ricaduta di odorigeni in direzione di Ceccano, in quanto i dati delle stazioni meteorologiche evidenziano la scarsità di venti che determinino impatti verso l'abitato di Ceccano.

La simulazione prende in considerazione solo la grandezza denominata Unità Odorigena; il metodo olfattometrico viene utilizzato per quantificare l'intensità di odore di una certa miscela. È noto come il nostro naso percepisca l'odore anche a concentrazioni molto più basse di quelle rilevabili da un qualsiasi strumento di misura. Nasce così il problema di quantificare una concentrazione non rilevabile dagli strumenti che la tecnologia ci mette a disposizione.

La soluzione risiede, quindi, nel valutare in maniera statistica, le soglie di percettibilità, sottoponendo ad un campione di testatori, diverse miscele contenenti molecole responsabili degli odori. Da questo tipo di valutazioni nasce il metodo olfattometrico che consiste, appunto, nel valutare la percettibilità di un odore, attraverso valutazioni

statistiche effettuate su un campione di tester. In base a questo metodo è stata definita l'unità olfattometrica o unità odorimetrica (U.O.) che corrisponde al numero di diluizioni di una miscela impiegato per far sì che il 50% del campione non avverta più l'odore.

Come è prevedibile, la situazione viene fortemente influenzata dal “che cosa” determina l'odore, in quanto le soglie di olfattibilità dei diversi composti variano enormemente, come si può vedere nella tabella riportata nella pagina successiva, che indica la suddetta soglia di percezione (vedi nota a piè di pagina).

L'unità odorimetrica è una sorta di “compendio” che riassume in se il potenziale odorigeno di una miscela che può contenere composti diversi, dove si possono osservare fenomeni di amplificazione dei singoli effetti o anche fenomeni opposti a causa delle diverse interazioni delle molecole presenti nell'aria.

Questa tipologia di simulazione, partendo da dati di U.O. non è in grado di dare un identikit dell'emissione in quanto non identifica marker specifici ma solo una grandezza “integrale”.

La classificazione delle fasi di processo di un depuratore per acque reflue, in riferimento alla possibile emissione di composti odorigeni, segue quanto riportato nella tabella sottostante; la tabella tiene conto dell'impatto olfattivo relativo alle singole fasi e accorpa pertanto fasi tecnologicamente diverse purché caratterizzate da emissioni odorigene simili.

Tabella 1 – Odorigeni in impianti di depurazione delle acque

Attività considerata	Fasi del processo e fonti emissive	Inquinanti odorigeni
Trattamento reflui liquidi	Arrivo e sollevamento refluo urbano e scarico bottini o autobotti	- solfuro di idrogeno;
	Pretrattamenti	- ammoniaca;
	Sedimentazione primaria	- composti organici contenuti zolfo;
	Ossidazione biologica	- composti organici ridotti dello zolfo;
	Nitrificazione	- composti organici ridotti dello zolfo;
	Trattamenti finali	- composti organici ridotti dello zolfo;
Trattamento fanghi e produzione di energia	Ispessimento	- ammine;
	Trattamenti meccanici (nastro/filtro pressatura, centrifugazione)	- indolo e scatolo;
	Trattamenti termici (essiccazione)	- acidi grassi volatili;
	Digestione anaerobica	- altri composti organici.
	Adduzione trattamento biogas	- altri composti organici.

Per quanto riguarda le soglie di olfattibilità dei diversi composti si riporta nella tabella sottostante dove si riportano, per tutta una serie di composti, le soglie di olfattibilità bassa e alta; il significato di queste due soglie può essere così riassunto: al raggiungimento della soglia bassa qualche persona rileva la presenza di odore, al raggiungimento della soglia alta tutti rilevano l'odore e possono descriverlo.

Nella tabella alla pagina successiva sono evidenziati con fondo giallo chiaro quei composti che principalmente si riscontrano nelle emissioni di un impianto di depurazione delle acque, perlomeno per quanto riguarda l'effetto odorigeno;

Da riscontri analitici presso altri impianti di depurazione si è verificato come il principale responsabile dell'effetto odorigeno sia l'idrogeno solforato, con il suo classico odore di uova marce; odori pungenti o dolciastrici (chetoni, alcoli o esteri) difficilmente sono presenti in modo rilevabile nelle emissioni di questi impianti.

La presenza di concentrazioni anche estremamente basse di scatolo conferisce una caratteristica di sentore fecale (deiezioni), questo composto può essere presente anche se in basse quantità.

Talvolta la presenza di ammoniaca diviene elevata ma soprattutto per impianti che trattano anche rifiuti industriali conferiti in modo diretto e trattati in zone dedicate.

Tabella 2 – Soglie di olfattibilità per diversi composti

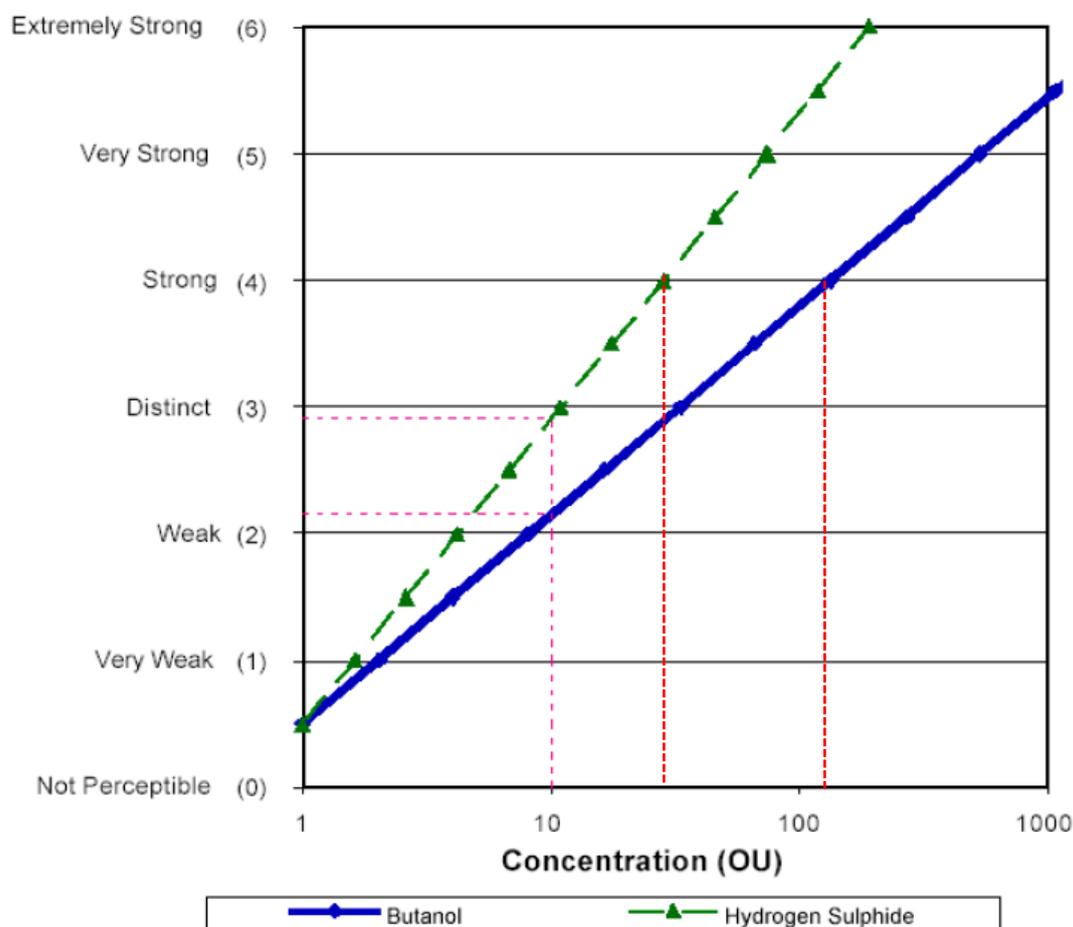
Composto	Formula	P.M	Odore	Soglia di odore ¹ in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
				bassa	alta
Composti dello zolfo					
Idrogeno solforato	H ₂ S	34	Uova marce	0,7	14
Disolfuro di carbonio	CS ₂	76	Dolce, sgradevole	24,3	23000
Dimetil solfuro	(CH ₃) ₂ S	62	Cavolo marcio	25	50,8
Dimetildisolfuro	(CH ₃) ₂ S ₂	94	Putrido	0,1	346
Dimetiltrisolfuro	(CH ₃) ₂ S ₃	126	Zolfo	6,2	6,2
Metilmercaptano	CH ₃ SH	48	Zolfo, aglio pungente	0,04	82
Etilmercaptano	CH ₃ CH ₂ SH	62	Cipolla in decomposizione	0,032	92
Ammoniaca e composti dell'azoto					
Ammoniaca	NH ₃	17	Pungente	26,6	23000
Metilamina	CH ₃ NH ₂	31	Pesce, pungente	25,2	12000
Dimetilamina	(CH ₃) ₂ NH ₂	45	Pesce, ammina	84,6	84,6
Trimetilamina	(CH ₃) ₃ NH ₂	59	Pesce, pungente	0,8	0,8
Indolo	C ₈ H ₇ N	117	Fecale		
Scatolo	C ₆ H ₃ C(CH ₃)CHNH	131	Fecale, nauseante	0,00004	268
Acidi grassi volatili					
Acido formico	HCOOH	46	Pungente, aspro	45	37800
Acido acetico	CH ₃ COOH	60	Aceto	2500	25000
Acido propionico	CH ₃ CH ₂ COOH	74	Rancido, pungente	84	64000
Acido butirrico	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	88	Rancido	1	9000
Acido valerianico	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	102	Sgradevole	2,6	2,6
Acido iso-valerianico	CH ₃ CH ₂ CH(CH ₃)COOH	102	Formaggio rancido	52,8	52,8
Chetoni					
Acetone	CH ₃ COOH ₃	58	Dolciastro di acetone	47500	161000
Butanone	CH ₃ COOH ₂ CH ₃	72	Dolciastro	737	147000
2-Pentanone	CH ₃ COOH ₃ CH ₂ CH ₃	86	Dolciastro	28000	45000
Altri composti					
Benzotiazolo	C ₆ H ₄ SCHN	135	Penetrante	442	2210
Acetaldeide	CH ₃ CHO	44	Dolciastro d'erba	0,2	4140
Fenolo	C ₆ H ₅ OH	94	Medicinale	178	2240

¹ La soglia di percettibilità dell'odore (OT₅₀=Odour Threshold) viene definita come la minima concentrazione di un composto odoroso che porta alla percezione dell'odore con una probabilità del 50% (soglia bassa). La soglia di riconoscimento al 100% (ORC₁₀₀ = Odour recognition concentration) è invece la concentrazione alla quale il composto viene identificato con una probabilità del 100% (soglia alta).

Quello che si può osservare, è sia l'enorme differenza sulle soglie di odore per i diversi composti, sia i differenti rapporti che esistono tra la soglia bassa e la soglia alta dei singoli composti, infatti per quanto riguarda la soglia minima si va dai $4 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$ dello scatolo ai $47500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dell'acetone, questo significa che a parità di quantità rilasciata in massa il volume di aria che diventa "odoroso" è 1,2 miliardi di volte più grande per lo scatolo rispetto all'acetone, e parimenti più grande diventa l'area interessata dall'emissione odorigena (a parità di condizioni atmosferiche); il secondo fatto è, come detto, il rapporto tra i valori di soglia bassa e alta, rapporto che va da 1 (acido valerianico, trimetilamina, ecc.) a 840 per l'acido formico, segnalando come, per composti diversi, il numero di persone che avvertano l'odore possa essere molto diverso a parità di concentrazione.

È interessante osservare come la concentrazione di uno stesso composto porti a definire la sua presenza come profumo o puzza; in particolare per l'indolo che insieme allo scatolo, è responsabile dell'odore delle feci; a basse concentrazioni, invece, è il responsabile di alcuni odori floreali come quello di gelsomino, di fiori di arancio e trova pertanto utilizzo nel campo dei profumi.

Figura 1 Rapporto tra intensità percepita dell'odore e unità odorimetriche ²



² Dipartimento di Protezione ambientale, Australia occidentale 2002

La figura mostra, in particolare, l'andamento delle risposta della popolazione alla concentrazione di Unità Odorimetriche di H₂S (acido solfidrico o idrogeno solforato), come già detto precedentemente il valore di U.O. (nel grafico OU Odorimetric Units) pari a 1 identifica la soglia di rilevazione bassa dove solo una quota (mediamente il 50%) della popolazione avverte "qualcosa"; il valore al quale si distingue l'odore è appena superiore alle 10 U.O., mentre un forte disturbo si avverte con circa 30 U.O.

In funzione di questo si è pertanto scelto di evidenziare, nei grafici che sono riportati nel paragrafo relativo ai risultati delle simulazioni di ricaduta, le curve a partire da 5 U.O. che sono al di sotto dell'identificazione della sostanza, e l'idrogeno solforato è una delle sostanze principali che si riscontrano negli odorigeni da impianti di depurazione delle acque reflue.

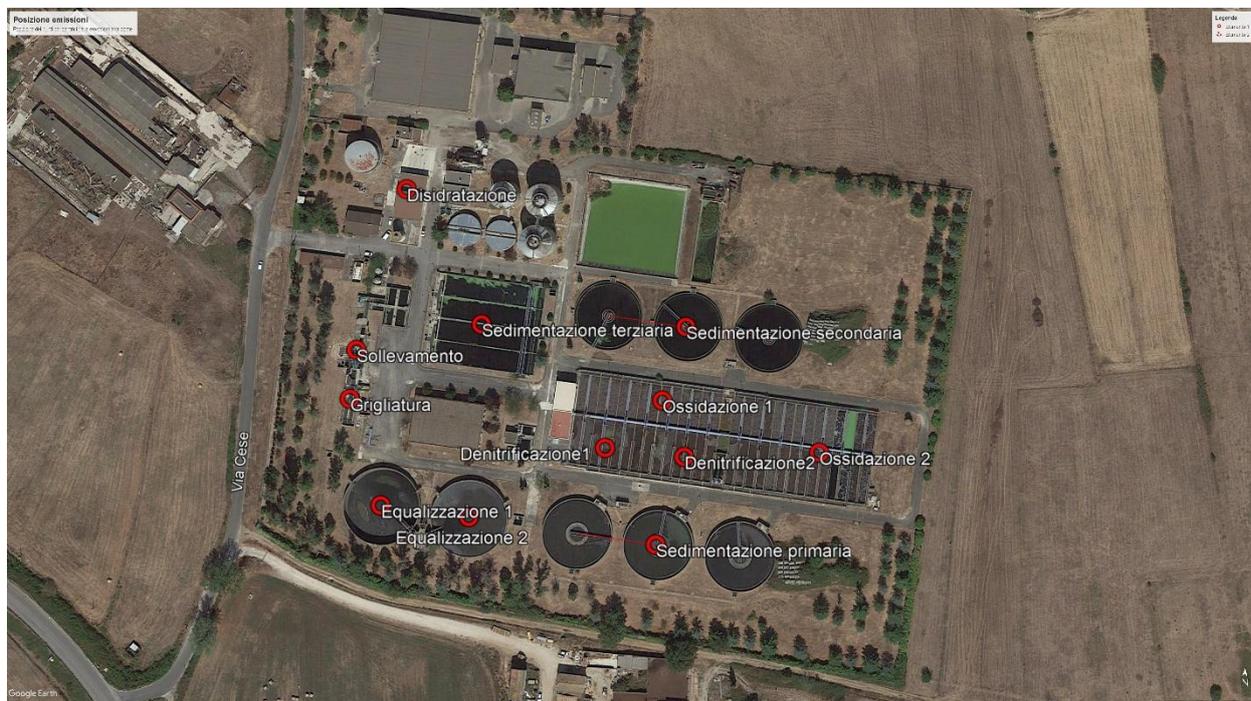
Un'altra osservazione che si può far risaltare in questo grafico è la notevole differenza che si ha nella sensazione della popolazione al variare del composto odorigeno; infatti per il butanolo la soglia di identificazione si situa sulle 30 U.O. e la soglia di forte disturbo è superiore a 100 U.O.

Le caratteristiche delle fonti emissive

L'analisi di ricaduta odorigeni parte esclusivamente da emissioni di tipo diffuso, emesse da vasche o da fabbricati, questo nel solo caso dell'area di disidratazione dei fanghi.

Non sono presenti emissioni puntiformi, quali camini e/o punti di emissione forzata mediate ventilatori; nella figura sottostante sono riportate le posizioni delle singole emissioni:

Figura 2 – Punti di emissione



Le emissioni sono continuative, e come tali sono considerate nella simulazione, i dati di partenza sono derivati da campionamento e analisi effettuate in data 15/6/2018 da: Gruppo CSA - S.p.A. Via al Torrente, 22 Rimini.

Protocollo di prova:

Olfattometro: Modello SCENTROID SS600 a sei postazioni

Odorante di riferimento: Alcol butilico in azoto a concentrazione certificata; valore nominale 40 ppm mol, in bombola

Campionamento effettuato tramite Wind Tunnel.

L'incertezza di misura estesa ($m=1$, $k = 2,26$, g.d.l. $v = 9$) al 95% di probabilità, è stata valutata per ogni singola prova in accordo al documento

UNI CEI ENV 13005:2000 ed è espressa solo per valori superiori al limite di rilevabilità.

Tutti i parametri sono accreditati ACCREDIA.

I risultati delle valutazioni olfattometriche sono riassunti nella tabella sottostante, i certificati analitici sono allegati alla relazione:

Tabella 3 – Risultati analitici

Numero certificato	Posizione monitorata	Valore riscontrato	Valore utilizzato
		UO/m ³	UO/m ³
1806752-001	Sollevamento - A	1334 ± 68	1350
1806752-002	Grigliatura - dissabbiatura B	1896 ± 72	1900
1806752-003	Equalizzazione - C1	1334 ± 68	1350
1806752-004	Equalizzazione - C2	1591 ± 70	1600
1806752-005	Sedimentazione primaria - D	1737 ± 71	1800
1806752-006	Denitrificazione - E1	1425 ± 69	1450
1806752-007	Denitrificazione - E2	1591 ± 70	1600
1806752-008	Ossidazione - F1	1277 ± 67	1300
1806752-009	Ossidazione - F2	1170 ± 66	1200
1806752-010	Sedimentazione secondaria - G	1662 ± 71	1700
1806752-011	Sedimentazione terziaria - H	891 ± 63	900
1806752-012	Disidratazione - N	1815 ± 72	1850

Per valutare le portate volumetriche delle singole emissioni sono state utilizzate le seguenti assunzioni:

Tabella 4 – Metodo di valutazione delle portate emissive

Punto di emissione	Assunzione utilizzata
Sollevamento - A	Portata liquida influente
Grigliatura - dissabbiatura B	Portata liquida influente
Equalizzazione - C1	Portata di evaporazione stimata in mm/mese secondo la formula di Visentini, riportata di seguito, moltiplicata per 10 per precauzione
Equalizzazione - C2	Come sopra
Sedimentazione primaria - D	Come sopra
Denitrificazione - E1	Come sopra
Denitrificazione - E2	Come sopra
Ossidazione - F1	Portata di aria immessa dai compressori
Ossidazione - F2	Come sopra
Sedimentazione secondaria - G	Portata di evaporazione stimata in mm/mese secondo la formula di Visentini, riportata di seguito, moltiplicata per 10 per precauzione
Sedimentazione terziaria - H	Come sopra
Disidratazione - N	Previsto un ricambio/ora del volume del fabbricato
Formula di Visentini: $E_m = 2,25 \times T^{1,5}$ in mm/mese Fattore di conversione da mm/mese a mm/ora: 2.592.000 Fattore di conversione da liquido a vapore: 1.245	

Partendo da questi dati sono state calcolate le emissioni odorigene come da seguente tabella:

Tabella 5 – Posizione e dimensioni delle fonti emissive

	COORDINATE GEOGRAFICHE		Superficie
			m²
Sollevamento - A	358909.00 m E	4605428.00 m N	192,00
Grigliatura - dissabbiatura B	358907.00 m E	4605405.00 m N	495,00
Equalizzazione - C1	358924.00 m E	4605356.00 m N	109,96
Equalizzazione - C2	358965.00 m E	4605352.00 m N	109,96
Sedimentazione primaria - D	359052.00 m E	4605342.00 m N	301,59
Denitrificazione - E1	359027.00 m E	4605386.00 m N	756,00
Denitrificazione - E2	359064.00 m E	4605383.00 m N	756,00
Ossidazione - F1	359053.00 m E	4605404.67 m N	1.512,00
Ossidazione - F2	359127.00 m E	4605387.00 m N	1.680,00
Sedimentazione secondaria - G	359063.00 m E	4605444.00 m N	301,59
Sedimentazione terziaria - H	358967.00 m E	4605442.00 m N	1.720,00
Disidratazione - N	358929.00 m E	4605505.00 m N	586,00

Tabella 6 – Portate emissive

	PORTATE		
	m³/s	m³/h	UO/s
Sollevamento - A	0,611	2.200,0	825,00
Grigliatura - dissabbiatura B	0,611	2.200,0	1.161,11
Equalizzazione - C1	0,246	885,4	332,03
Equalizzazione - C2	0,246	885,4	393,52
Sedimentazione primaria - D	0,675	2.428,6	1.214,28
Denitrificazione - E1	1,691	6.087,6	2.451,97
Denitrificazione - E2	1,691	6.087,6	2.705,62
Ossidazione - F1	1,467	5.280,0	1.906,67
Ossidazione - F2	1,467	5.280,0	1.760,00
Sedimentazione secondaria - G	0,675	2.428,6	1.146,82
Sedimentazione terziaria - H	3,847	13.850,2	3.462,55
Disidratazione - N	1,139	4.102,0	2.107,97

Se si tiene in considerazione il valore di correzione applicato alla portata emissiva, pari ad un ordine di grandezza, si comprende come la valutazione sia stata fatta in modo estremamente prudente, tale anche da superare le peggiori condizioni immaginabili per quanto riguarda il flusso di odorigeni immesso nell'atmosfera.

Come risulterà chiaro osservando i valori riportati nei grafici derivati dalla simulazione, quei valori di 10 U.O. o peggio ancora di 30 U.O., anche nelle condizioni di sovrastima utilizzate, avvengono solo nelle immediate vicinanze (centinaia di metri), dall'impianto di depurazione, e non si estendono verso aree abitate limitrofe.

La diffusione atmosferica

L'analisi climatologica del territorio rappresenta un elemento di valutazione essenziale dello stato di qualità dell'aria di un sito: la caratterizzazione del regime dei venti e delle capacità dispersive dell'atmosfera consente infatti di individuare le condizioni meteorologiche più ricorrenti o più critiche per la ricaduta al suolo e l'accumulo delle sostanze inquinanti. E' nota l'influenza delle condizioni meteorologiche nei fenomeni di inquinamento atmosferico: infatti, a parità di inquinante emesso in atmosfera, le concentrazioni misurate possono essere molto diverse a seconda che si realizzino o meno condizioni favorevoli all'accumulo in aria delle sostanze emesse.

In generale, si possono individuare un insieme di parametri meteorologici che caratterizzano la diffusività dei bassi strati dell'atmosfera, e cioè che corrispondono a condizioni di maggiore o minore turbolenza. Oltre al vento, che caratterizza i fenomeni di trasporto nel piano orizzontale, sono importanti altre grandezze riconducibili a fenomeni di convezione, cioè di rimescolamento delle masse d'aria lungo la direzione verticale: un metodo molto utilizzato per individuare le diverse condizioni di stabilità atmosferica sfrutta misure di radiazione globale, di radiazione netta e di velocità del vento, mentre altri metodi sfruttano la variazione del profilo verticale della temperatura, o ancora il cosiddetto "sbandieramento" (variazioni del vettore velocità del vento, dovute a fenomeni di turbolenza locale).

Anche l'altezza dello strato di miscelamento costituisce un elemento molto importante, dato che permette di quantificare le dimensioni della porzione di atmosfera in cui sono importanti i moti convettivi ed è quindi significativo il rimescolamento delle masse d'aria: questa variabile può essere determinata attraverso il profilo termico verticale, con algoritmi che si basano sulle classi di stabilità atmosferica, o ancora utilizzando modelli meteorologici opportunamente configurati.

Quindi, in generale, qualora si intenda effettuare uno studio climatologico finalizzato a valutare le capacità dispersive dell'atmosfera è quindi necessario individuare alcuni indicatori climatologici sintetici, ottenuti dall'analisi delle principali variabili meteorologiche quali:

- Joint Frequency Function (JFF) e relative rose dei venti per l'analisi anemologica stagionale;
- Joint Frequency Function (JFF) e relative rose dei venti per l'analisi anemologica in base alle classi di stabilità atmosferica;

Le JFF sono tabelle di ricorrenza, espresse in millesimi, con cui vengono conteggiati gli accadimenti divisi per settori di direzione di provenienza del vento e per classi di velocità del vento; le rose dei venti sono barre telescopiche, orientate secondo i rispettivi settori di provenienza, di lunghezza proporzionale alle ricorrenze percentuali e di colore diverso a seconda della velocità.

L'intensità e la direzione del vento, la turbolenza e la stabilità atmosferica sono le quantità fondamentali nello studio della dispersione degli inquinanti in atmosfera.

Il comportamento di una emissione in atmosfera un effluente e le eventuali ricadute al suolo di sostanze inquinanti variano fortemente a seconda che l'atmosfera sia in equilibrio instabile, neutro o stabile. Inoltre la presenza di inversione termica, basata a terra o elevata, può modificare sostanzialmente l'abbattimento al suolo degli inquinanti, a seconda che le emissioni gli effluenti siano emessi avvengano sopra o sotto la quota di inversione.

Di seguito sono descritte le diverse situazioni di stabilità atmosferica riscontrabili:

- Condizioni di instabilità atmosferica: hanno luogo quando il gradiente termico verticale è "superadiabatico" ($\Delta T/100m < -1^\circ C$)., l'atmosfera è instabile, la velocità del vento è significativa al suolo e aumenta moderatamente con la quota: in queste condizioni si sviluppano moti turbolenti sia verticali sia orizzontali. Un effluente emesso Una emissione in atmosfera, a causa delle turbolenze, viene abbattuto al suolo in modo irregolare e a distanze piuttosto ravvicinate al punto di emissione: in tal caso le concentrazioni al suolo possono essere elevate (looping). Questa condizione si verifica prevalentemente nel periodo estivo, nelle ore più calde della giornata, con cielo sereno.
- Condizioni neutre: nel caso in cui il gradiente termico verticale è "adiabatico" ($\Delta T/100m = -1^\circ C$), l'atmosfera è in equilibrio neutro, la velocità del vento è molto bassa presso il suolo e aumenta abbastanza rapidamente con la quota. Le emissioni si mantengono relativamente compatte e ricadono al suolo a una distanza considerevole (coning). Questa condizione, molto ricorrente, si verifica con cielo coperto o debole insolazione e velocità del vento moderata o forte.
- Condizioni di stabilità atmosferica: hanno luogo quando il gradiente termico verticale è "subadiabatico" ($\Delta T/100m > -1^\circ C$)., l'atmosfera è in equilibrio stabile, il profilo della velocità del vento parte con valori significativi da una certa quota, la sua componente verticale è trascurabile o nulla. In queste condizioni una emissione in atmosfera l'effluente si mantiene compatto per lunghe distanze: , anche per diversi Km; il pennacchio assume la forma di "nastro" se la direzione del vento è costante, a "bandiera" se la direzione è variabile (fanning). Questa condizione si verifica prevalentemente in inverno, con cielo coperto o nebbia.
- Condizioni di inversione termica: l'inversione termica può avere base a terra, condizione che si presenta nelle ore notturne, quando il suolo si trova ad una temperatura inferiore rispetto all'aria; in questo caso sono inibiti i moti verticali e l'atmosfera si presenta stratificata. Quando invece il gradiente termico verticale è adiabatico fino ad una certa altezza e poi diventa subadiabatico, è presente una inversione termica in quota. Nel caso in cui la sorgente di emissione in atmosfera si trova al di sotto di questa quota, l'effluente emesso l'emissione stessa incontra uno strato di stabilità e, di conseguenza, resta intrappolato e diffonde verso il suolo (fumigation). In questo caso la concentrazione al suolo di sostanze inquinanti può essere elevata. Questa condizione si verifica prevalentemente nelle prime ore del

mattino, quando l'inversione da radiazione esistente viene erosa dal basso e si forma uno strato neutro o instabile interno.

Un criterio di classificazione per le condizioni di stabilità atmosferica è stato introdotto da Pasquill. Le classi di stabilità, denotate con le lettere dalla A alla F, sono determinate in base a parametri meteorologici facilmente acquisibili dalle stazioni a terra, in particolare alla velocità del vento a 10 m dal suolo e alla radiazione solare globale e netta, la definizione delle classi di stabilità atmosferica secondo Pasquill è riportata nella tabella sottostante:

Tabella 7 - Definizione delle classi di stabilità atmosferica

Classe di stabilità	Definizione	Classe di stabilità	Definizione
A	molto instabile	D	neutrale
B	instabile	E	leggermente stabile
C	leggermente instabile	F	stabile

Nella tabella sotto riportata sono indicate le condizioni meteorologiche che definiscono le classi di stabilità atmosferica di Pasquill:

Tabella 8 – Determinazione classi di Pasquill

Velocità del vento in superficie		Intensità della radiazione solare		Copertura nuvolosa notturna		
m/s	mi/h	Forte	Moderata	Leggera	> 50%	< 50%
< 2	< 5	A	A – B	B	E	F
2 – 3	5 – 7	A – B	B	C	E	F
3 – 5	7 – 11	B	B – C	C	D	E
5 – 6	11 – 13	C	C – D	D	D	D
> 6	> 13	C	D	D	D	D

Nota: la classe D si applica a cieli molto coperti, a qualsiasi velocità del vento, giorno o notte

In maggiore dettaglio, e con i riferimenti puntuali a valori discriminanti della radiazione solare, la stessa suddivisione è riportata nella tabella sottostante, dove è evidenziata in rosso l'area che sarà oggetto della quasi totalità simulazioni, in accordo con l'analisi della situazione meteo locale dell'area, che è riportata nel seguito.

Tabella 9 – Classi di Pasquill

Radiazione in (W/m ²)			Velocità del vento in m/s					
			<2	2÷3	3÷4	4÷5	5÷6	>6
Giorno	Radiazione globale totale	>700	A	A	B	B	C	C
		700 ÷ 540	A	B	B	B	C	C
		540 ÷ 400	B	B	B	C	C	D
		400 ÷ 270	B	B	C	C	C	D
		270 ÷ 140	C	C	C	D	D	D
		<140	D	D	D	D	D	D
Notte	Radiazion e netta	> -20	D	D	D	D	D	D
		-20 ÷ -40	D	E	D	D	D	D
		<-40	D	F	E	E	D	E

La situazione meteorologica dell'area

Valutazione climatologica

Partendo dai dati ARSIAL della centralina di BOVILLE ERNICA in località: Sasso Provincia: FR Quota: 217 slm coordinate geografiche UTM 33N (X): 373.836 UTM 33N (Y): 4.609.653; forniti per il periodo maggio 2017- maggio 2018, e suddivisi in medie per decade si determina la situazione di distribuzione prevalente dei venti, questa situazione è stata inserita nel modello di ricaduta.

Purtroppo non sono disponibili centraline gestite da Enti Ufficiali più vicine all'area.

Si osserva in particolare che la direzione di provenienza dei venti è piuttosto concentrata sull'asse NE-SSO, con quasi nulla presenza di venti dai quadranti da O a NNE, come osservabile nel grafico sottostante, che è stato sovrapposto all'immagine satellitare dell'azienda, per meglio comprendere le aree maggiormente interessate dalla ricaduta delle emissioni:

Figura 3 – Provenienza dei venti



Si osserva che, parlando di media di provenienza dei venti, l'area a SO rispetto all'impianto risulta praticamente non interessata; questo non significa che non siano esistite condizioni locali in cui ci sia stato vento che spirasse in direzione di Ceccano e altre aree lungo quell'asse, ma che statisticamente non si è trattato, nell'anno esaminato, di un valore rilevante.

Nell'effettuazione delle analisi di ricaduta, nonostante questa evidenza, è stata effettuata anche una simulazione inserendo direzioni di provenienza dai quadranti da O a NNE per verificare quale possa essere l'impatto in queste condizioni.

Si ricorda che comunque parlando di situazione climatologica prevalente la sopracitata simulazione non è significativa.

Per questa simulazione si è fatto anche riferimento ad una centralina posta in corso Lazio a Frosinone Bassa Elev: 183 m s.l.m. Lat: 41° 37' 22" N Long: 13° 19' 36" E. forniti per l'anno 2017, si ricorda che questi dati non sono validati da un Ente Ufficiale.

Di seguito si osserva la distribuzione prevalente dei venti derivata dai dati della centralina di Frosinone; in questo caso ci sono dei casi (circa il 7%), che ricadono nell'area influente la città di Ceccano.

Figura 4 – Provenienza dei venti centralina di Frosinone



Per quanto riguarda i dati medi della velocità del vento, quelli forniti dalla ARSIAL sono riassunti nella tabella sottostante, confrontati con quelli provenienti dalla stazione di Frosinone; si ricorda che i valori di ARSIAL sono medie per decade, mentre quelli di Frosinone sono medie giornaliere.

Tabella 10 – Velocità dei venti:

Valore	Unità di misura	Boville	Frosinone
Media	m/s	0,68	2,63
Massimo		0,89	6,0
Minimo		0,52	0,1

Non si tratta di zone particolarmente ventose, in quanto i valori di calma di vento misurati sono percentualmente maggiori del 65%, e anche i venti medi non sono molto intensi.

Nelle figure successive sono riportate le distribuzioni percentuali dei venti medi e dei venti massimi per la sola stazione di Frosinone corso Lazio.

Figura 5 Statistica velocità dei venti

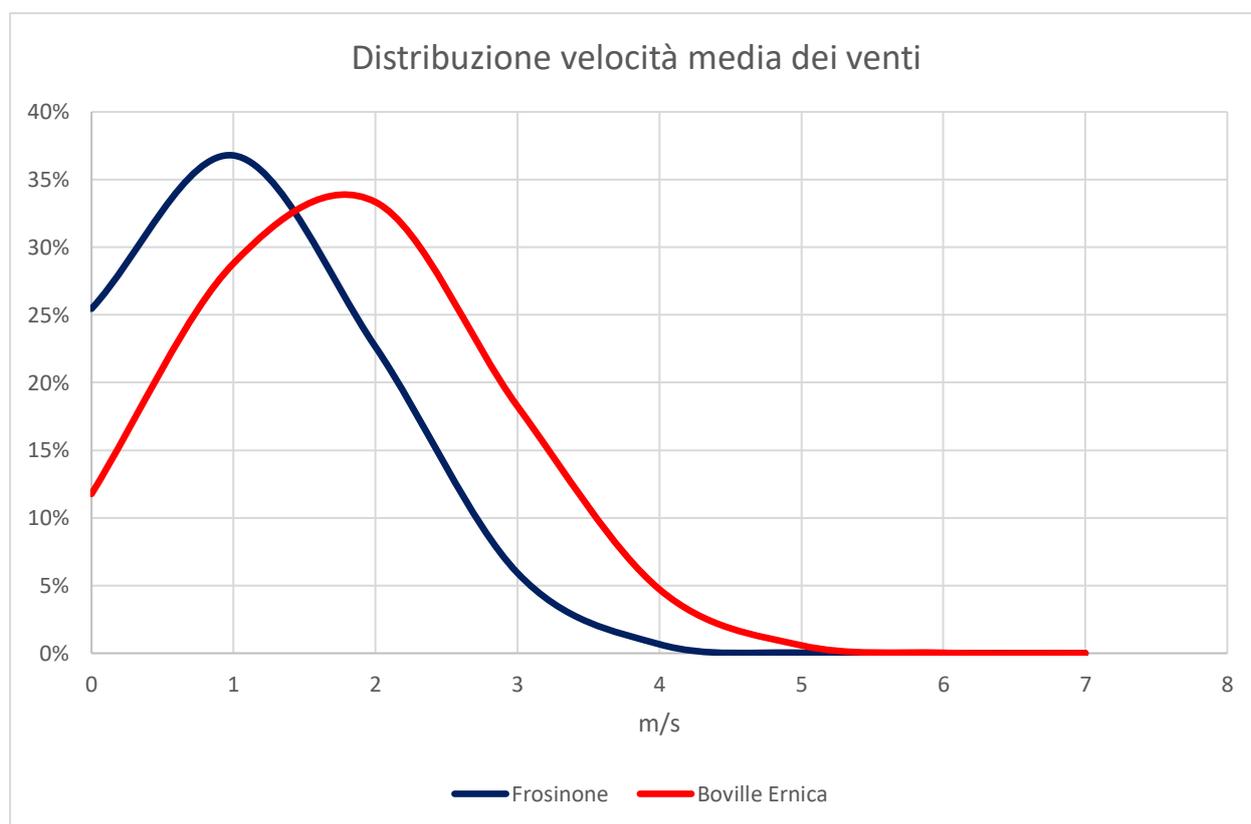


Figura 6 Statistica velocità dei venti 2

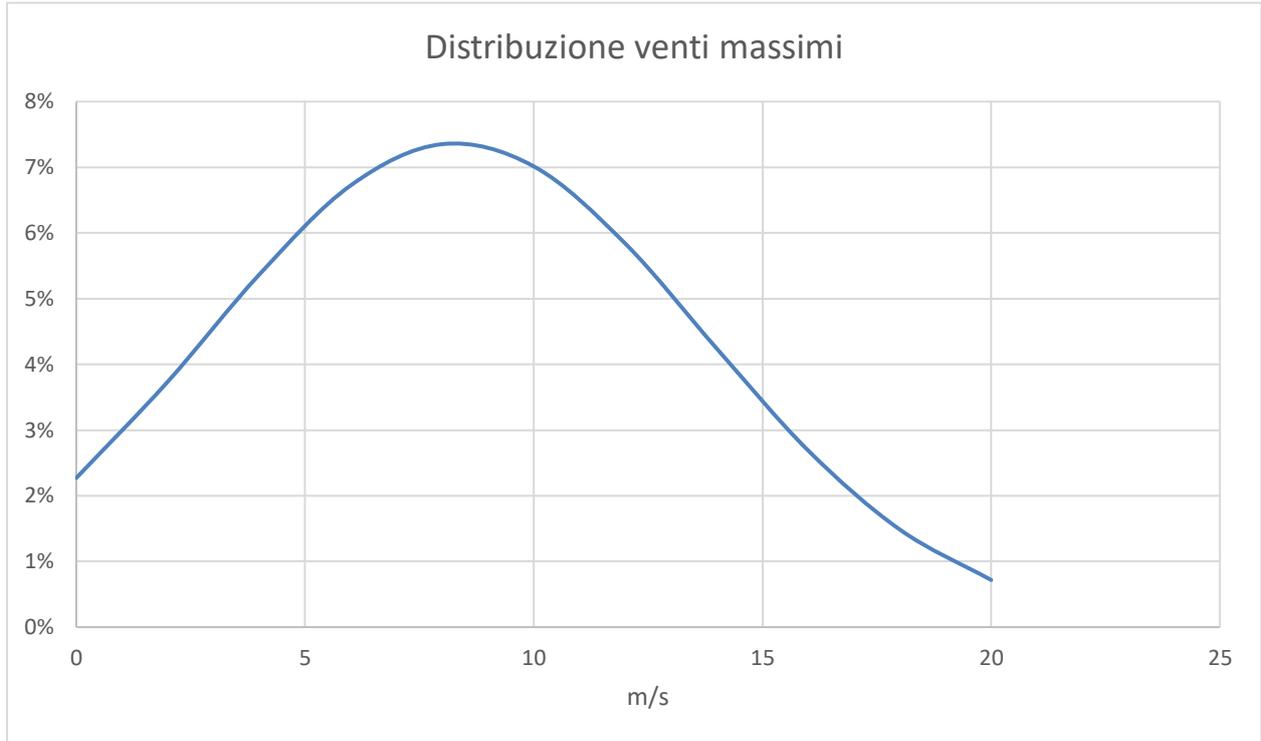
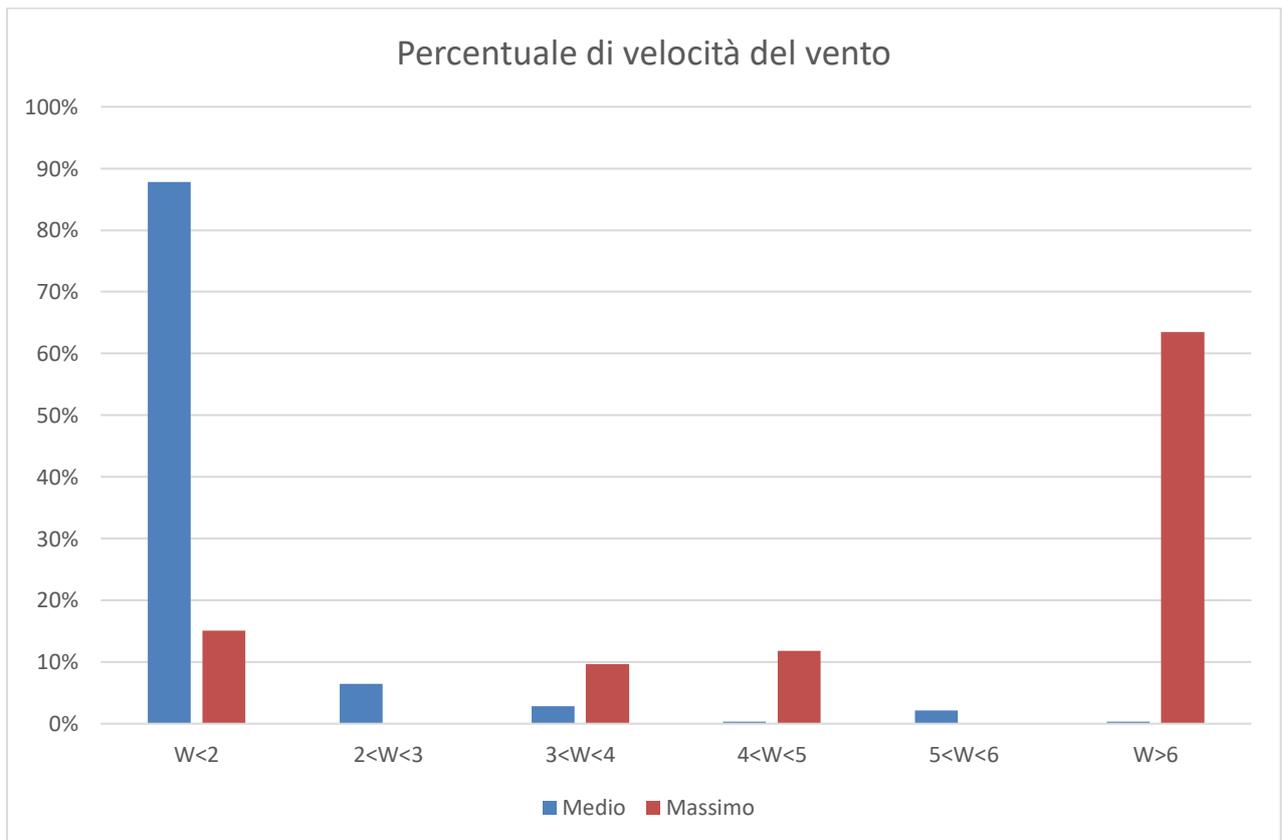


Figura 7 Statistica velocità dei venti 3



Questi valori, unitamente alla radiazione solare permetteranno di definire la situazione atmosferica che sarà inserita nel processo di simulazione della ricaduta delle emissioni dal camino; la combinazione delle diverse variabili descritte permette di determinare la classe di stabilità atmosferica³ secondo la tabella già segnalata a pagina 11.

Nel modello di valutazione della ricaduta, verrà utilizzata anche la lunghezza di Monin-Obukhov: si tratta di un grandezza di scala relativa allo strato superficiale dell'atmosfera, e corrisponde al rapporto tra l'intensità della turbolenza prodotta da fattori meccanici (shear del vento) e quella di origine convettiva (termiche); normalmente è negativa di giorno, positiva di notte.

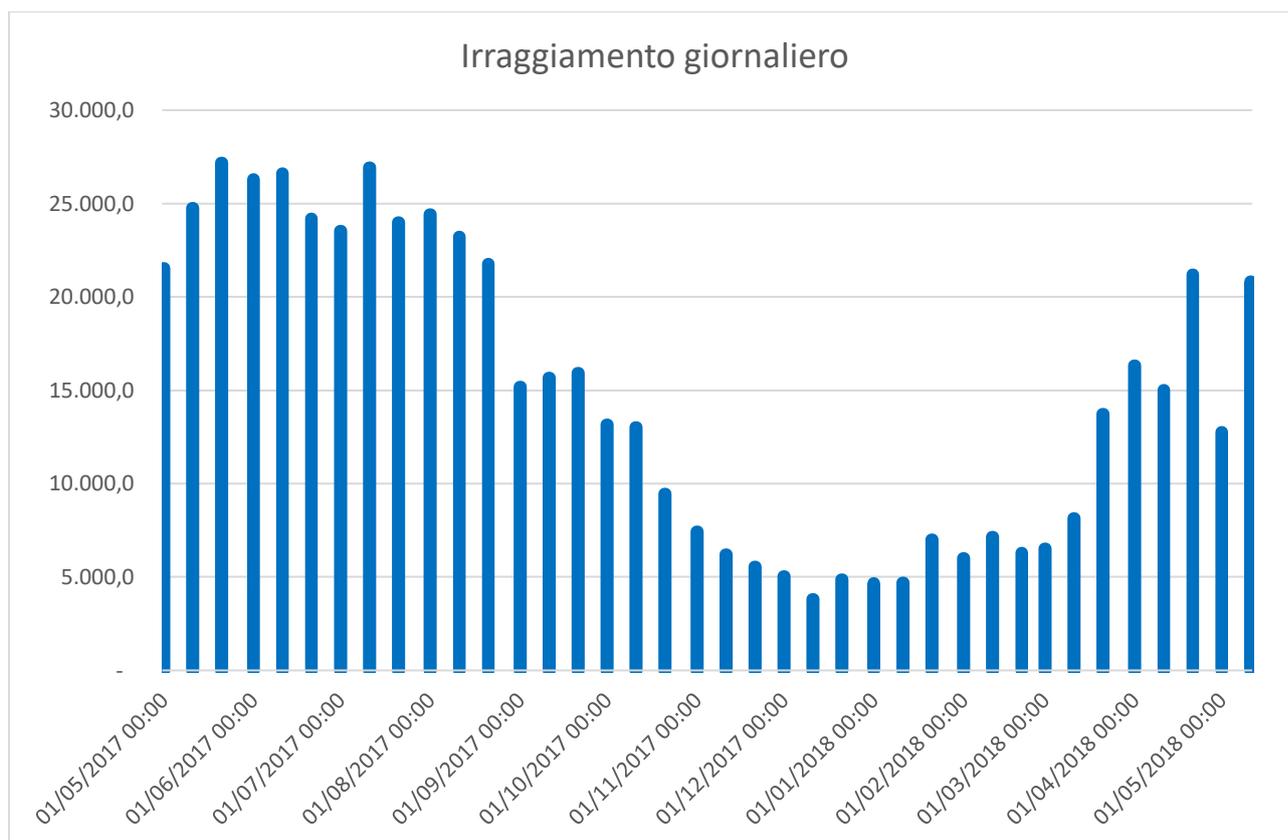
Molto importanti e fortemente incidenti nell'area di valutazione sono gli effetti delle inversioni termiche, o per meglio dire della quota dell'inversione termica, che è il fenomeno che si verifica quando si formano le nebbie, congiuntamente con le situazioni di vento leggero o assente (calme di vento); questo fenomeno è importante per la diffusione degli inquinanti in quanto, impedendo una diffusione verticale, riduce l'effetto di diluizione e ridistribuzione dei composti.

Per quanto riguarda i valori di radiazione solare, i dati della centralina dell'ARSIAL compendiate da studi di distribuzione oraria dell'incidenza per le fasce di posizione geografica dell'ENEA indicano i valori riportati nei grafici sottostanti, ma si riferiscono esclusivamente alla Radiazione Globale, e presentano solo valori positivi o nulli, quindi per la determinazione delle classi di stabilità notturne non forniscono un supporto; peraltro, vista la scarsa incidenza di situazioni di vento superiori ai 3 m/s, la presenza delle classi E ed F+G è da considerarsi marginale.

Ritornando ai valori misurati la situazione è riassunta nei grafici riportati nelle pagine successive; ci sono casi con valori di incidenza elevati (maggiori di 1000 W/m²), ma si tratta di una minoranza, la maggior parte dei casi di irraggiamento misurato sono nella fascia 0- 140 W/m², che rappresentano in totale il 17,2% dei dati registrati, e il 35,6% del totale di tutte le osservazioni.

³ Queste sono le cosiddette Classi di stabilità atmosferica individuate da Pasquill, nelle la turbolenza atmosferica viene suddivisa in sei categorie di stabilità chiamate A, B, C, D, E e F, dove la categoria A è la più instabile e la categoria F identifica la più stabile (o meno turbolenta).

Figura 8 – Andamento dell'irraggiamento



Come risulta ovvio l'irraggiamento giornaliero è più elevato nei periodi estivi, e i dati indicano valori massimi dell'ordine delle 27.000 MJ/m², mentre durante i mesi invernali si sono riscontrati valori inferiori a 5.000 MJ/m²-

Applicando a questi valori l'andamento distribuito durante il giorno derivato dagli studi ENEA si determina la distribuzione dell'irraggiamento durante la giornata nei diversi mesi e la percentuale per fascia necessaria per le valutazioni della stabilità dell'aria.

Figura 9 – Distribuzione dell'irraggiamento durante il giorno

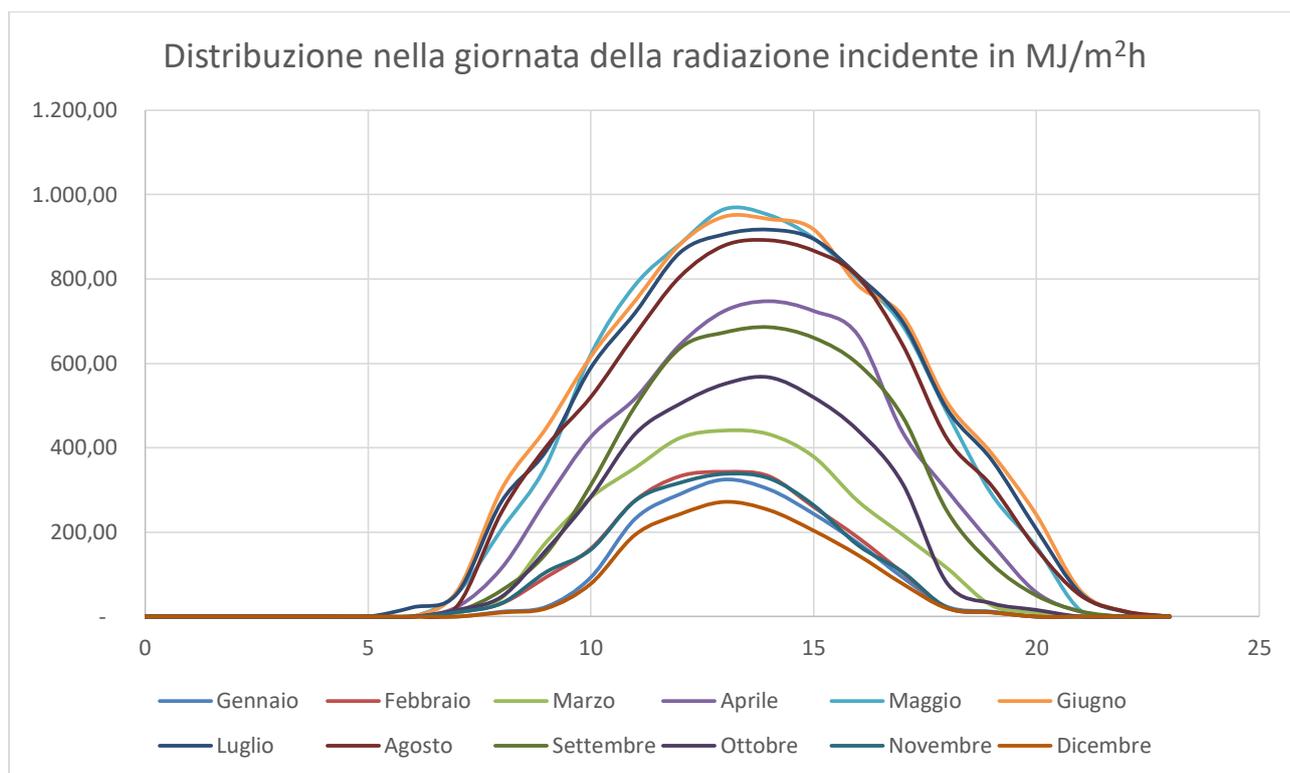
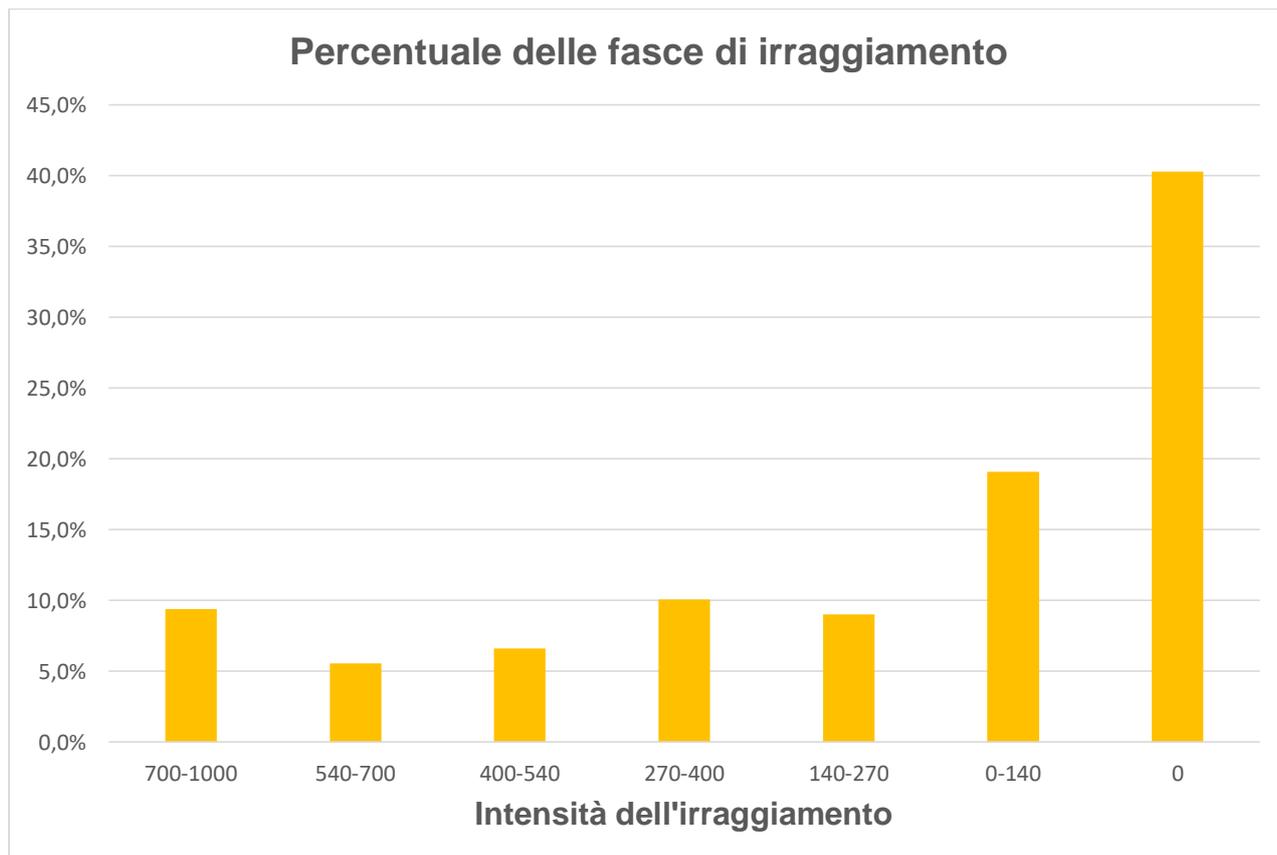


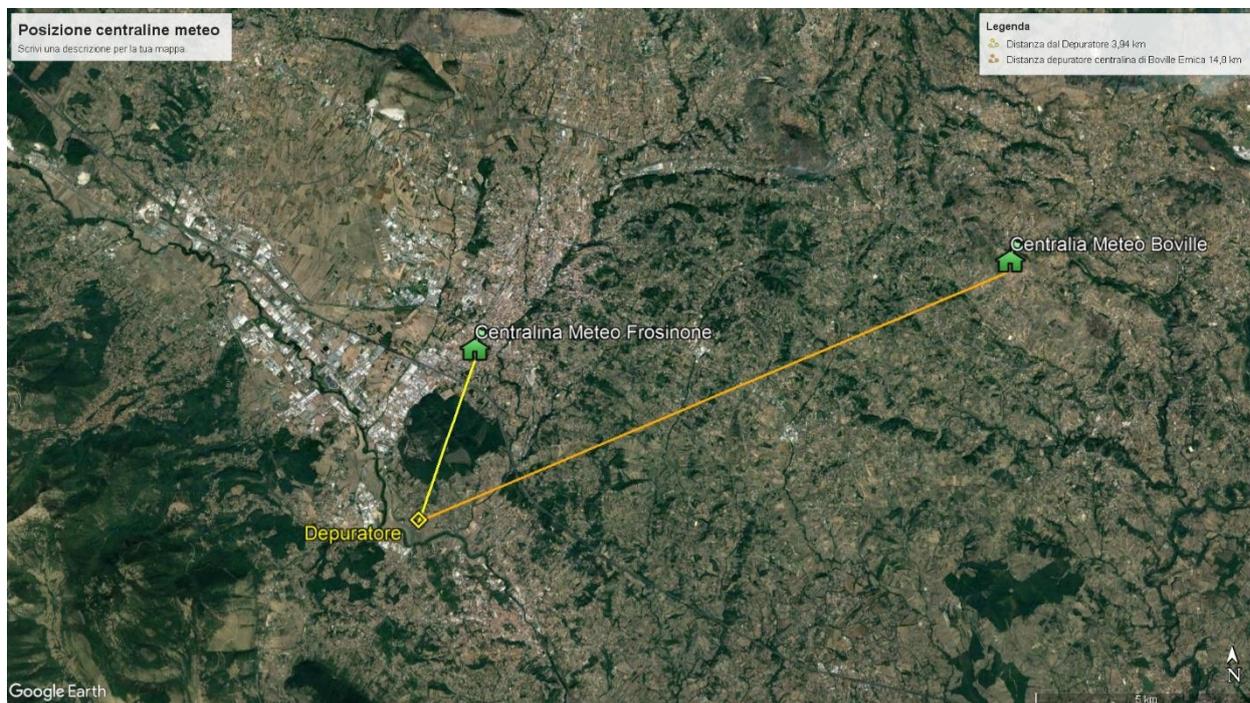
Figura 10 – Distribuzione percentuale delle fasce di irraggiamento



Il modello principale che sarà inserito nell'analisi di ricaduta sarà pertanto costituito da 288 situazioni meteorologiche differenti caratterizzate dalla provenienza dei venti distribuita come da analisi statistica effettuata sui dati ARSIAL , e con intensità variabili dal valor medio considerato e altre con valori più elevati per tenere conto della presenza di venti più intensi che però dai dati medi delle decadi risultano non visibili; a tale scopo di supporto sono le osservazioni della stazione meteo di Frosinone; saranno presenti anche casi di calma di vento, le calme di vento riportate dai dati delle stazioni meteo sono superiori al 50% dei dati rilevati.

Verranno effettuate anche altre due simulazioni, una prendendo i dati della stazione di Frosinone con lo stesso numero di situazioni meteorologiche del modello principale, e la seconda, che è puramente teorica, immaginando una giornata di ventilazione in direzione di Ceccano, fatto non impossibile ma di accadimento scarso ($\approx 1\%$).

Figura 11 - Posizione centraline meteo

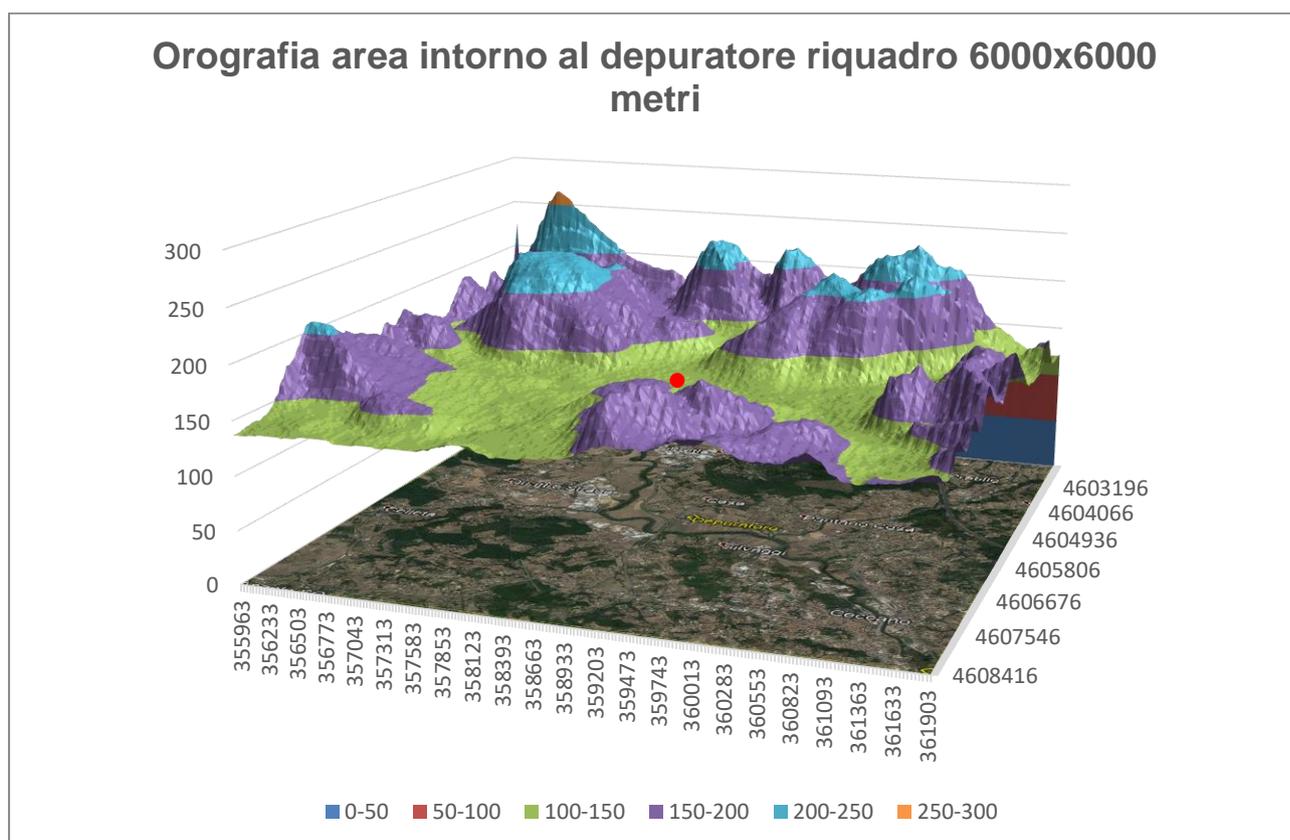


La situazione orografica

Come osservabile dall'immagine sottostante, si può vedere che l'area in cui è situato il depuratore si trova nella parte più bassa (circa 130 metri s.l.m.) del reticolo preso in considerazione per la simulazione di ricaduta; sono presenti contrafforti con quote sino a 300 metri, nella zona a nord dell'insediamento, e altre fino a 200 metri a sud.

Sono individuabili le aree più pianeggianti verso le quali, sempre in funzione della direzione dei venti, si incanaleranno le emissioni presenti nell'area.

Figura 12 - Orografia



I risultati delle simulazioni

Nelle simulazioni di ricaduta odorigeni è possibile verificare l'effetto della deposizione umida, le linee guida indicano quanto segue:

12. Deposizione secca e deposizione umida

Nei casi oggetto del presente documento la deposizione secca e la deposizione umida hanno generalmente un effetto trascurabile sulla rimozione degli inquinanti odorigeni dall'atmosfera, e quindi si consiglia, cautelativamente, di disattivare gli algoritmi di calcolo della deposizione secca ed umida.

Qualora invece si scelga di attivare tale algoritmo nel modello di dispersione, tutti i parametri di controllo di tali algoritmi (ad esempio: costante di Henry e scavenging coefficient) dovranno essere riportati nella relazione di presentazione dello studio.

Naturalmente gli algoritmi di calcolo della deposizione umida dovranno essere disattivati qualora non siano disponibili dati di precipitazione nel set di dati meteo.

Non è stato preso in considerazione l'effetto di deposizione umida, quindi **nessun coefficiente riduttivo** è stato inserito dal software di calcolo.

13. Post-elaborazione delle concentrazioni medie orarie

Le concentrazioni orarie di picco di odore per ciascun punto della griglia contenuta nel dominio spaziale di simulazione e per ciascuna delle ore del dominio temporale di simulazione devono essere ottenute moltiplicando le concentrazioni medie orarie per un peak-to-mean ratio pari a 2,3. Benché nella letteratura scientifica non vi sia accordo unanime circa la definizione di un valore congruo per il peak-to-mean ratio, si consiglia qui un fattore unico uniforme allo scopo di depurare i risultati delle simulazioni, per quanto possibile, dagli aspetti connessi alla scelta dei parametri del modello più che alle specificità dello scenario emissivo di cui si deve simulare l'impatto.

Il software effettua l'operazione in automatico secondo quanto disposto da APAT, non avendo previsto variazioni temporali (valori di portata e concentrazione fissi nelle tre simulazioni), il fenomeno di differenziazione è minimo e solo dovuto alla dispersione differente nelle diverse condizioni meteorologiche.

Nel seguito si riportano i risultati delle prove di simulazione di ricaduta effettuate.

Per effettuare le simulazioni si è utilizzato, come già detto precedentemente, il modello WinDimula che è inserito nell'elenco dei modelli consigliati da APAT (Agenzia Italiana per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici) per la valutazione e gestione della qualità dell'aria (<http://www.smr.arpa.emr.it/ctn/> nel menu selezionare -Entra negli

scenari- Scenario 2.) Nel documento è contenuta la scheda aggiornata alla versione 1 del modello.

WinDimula è un modello gaussiano multisorgente che consente di effettuare simulazioni in versione short_term.

I modelli gaussiani si basano su una soluzione analitica esatta dell'equazione di trasporto e diffusione in atmosfera ricavata sotto particolari ipotesi semplificative.

La forma della soluzione è di tipo gaussiano, ed è controllata da una serie di parametri che riguardano sia l'altezza effettiva del rilascio per sorgenti calde, calcolata come somma dell'altezza del camino più il sovrizzo termico dei fumi, sia la dispersione laterale e verticale del pennacchio calcolata utilizzando formulazioni che variano al variare della stabilità atmosferica, descritta utilizzando le sei classi di stabilità introdotte da Pasquill-Turner e le lunghezze di Monin-Obukhov.

Contrariamente agli altri principali modelli gaussiani (ad esempio il modello EPA ISC) WinDimula permette di valutare la diffusione in atmosfera dell'inquinante anche in presenza di situazioni di "calma di vento" integrando un opportuno modello (Modello di Cirillo Poli) per le calme di vento; Nei grafici alle pagine successive sono riportati i risultati delle simulazioni nei casi prospettati, precedentemente quindi:

- valori di concentrazione nell'aria degli odorigeni;
- valori di deposizione a terra degli odorigeni;

Per valori di concentrazione nell'aria si intendono quelli calcolati a 10 metri dal livello del suolo; i valori di deposizione indicano la quantità media di deposizione a terra di quello che si trova nell'aria.

Si segnala che, a titolo precauzionale, i valori di concentrazione riportati nei singoli punti sono i massimi rilevati, e non i valori medi che la simulazione ha calcolato; qualora si fosse applicato questo criterio, i risultati avrebbero mostrato un situazione migliore di quella che viene illustrata di seguito.

Per meglio evidenziare l'impatto di questa scelta nella valutazione dei dati, si deve tenere conto che i valori massimi, rispetto a quelli medi, sono più elevati di oltre un ordine di grandezza.

Si sottolinea come le linee guida chiedano la valutazione al 98% percentile dei dati riscontrati, nel nostro caso sono stati riportati solo i valori massimi ricavati dal software di simulazione nei singoli punti soddisfacendo "in abundantiam" alle specifiche delle linee guida

Per chiarezza si ricordano le unità di misura utilizzate nei grafici:

- Valori di concentrazione espressi in U.O./m³

Figura 13 - Ricaduta odorigeni valori massimi in aria – Simulazione con i dati ARSIAL

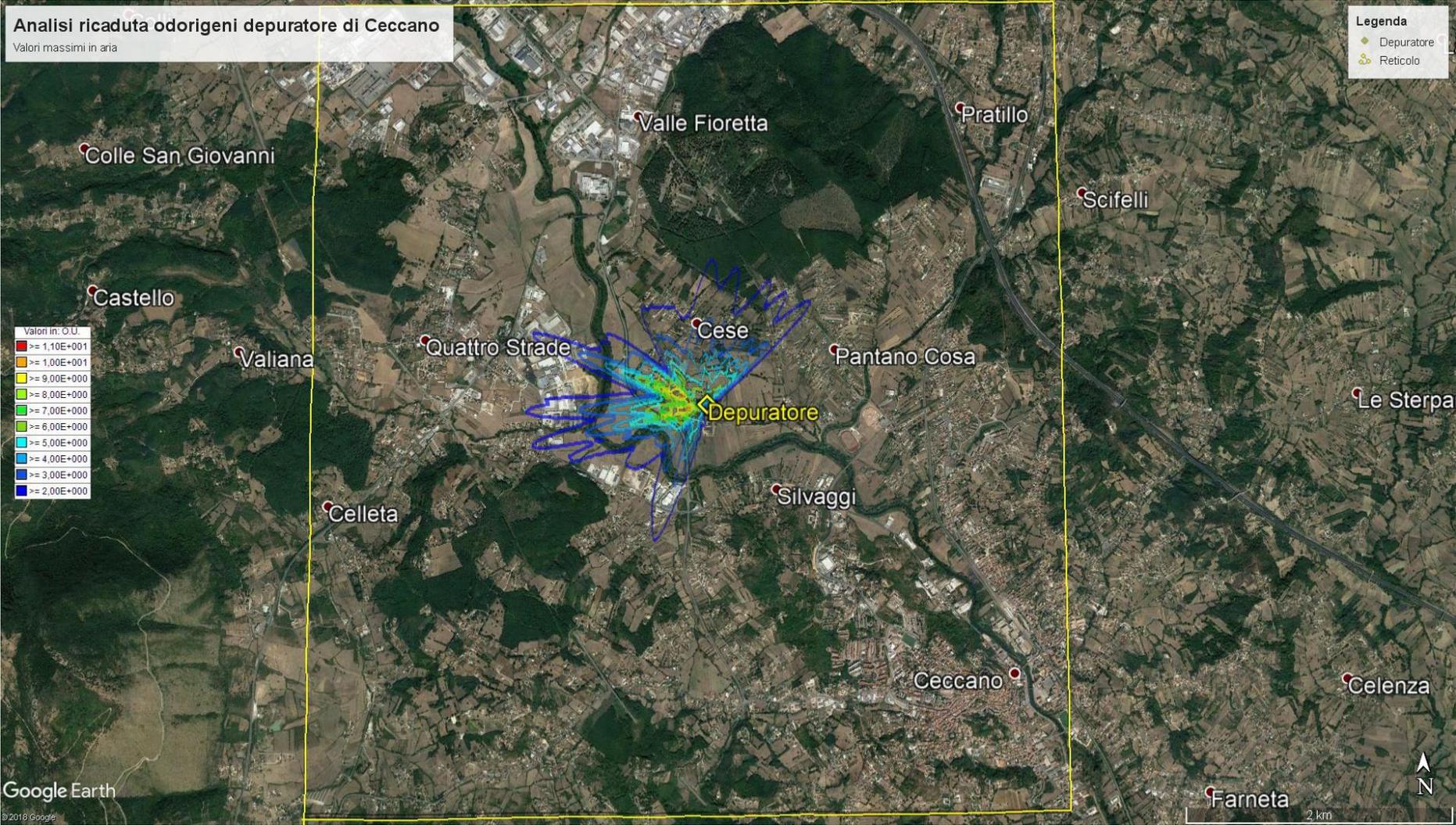


Figura 14 - Ricaduta Odorigeni valori di deposizione a terra – Simulazione con i dati di ARSIAL

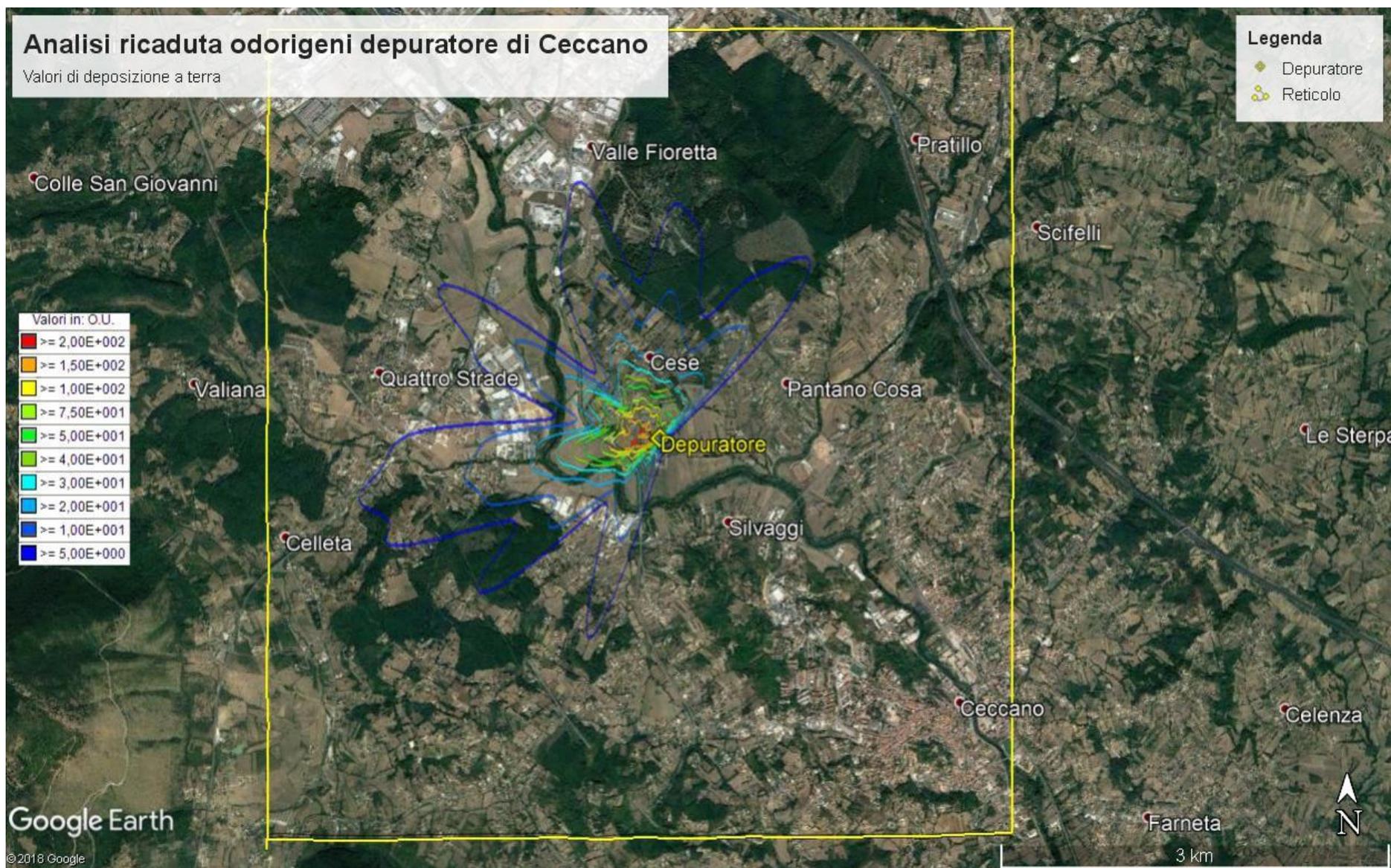


Figura 15 - Ricaduta odorigeni valori massimi in aria – Simulazione con i dati di Frosinone

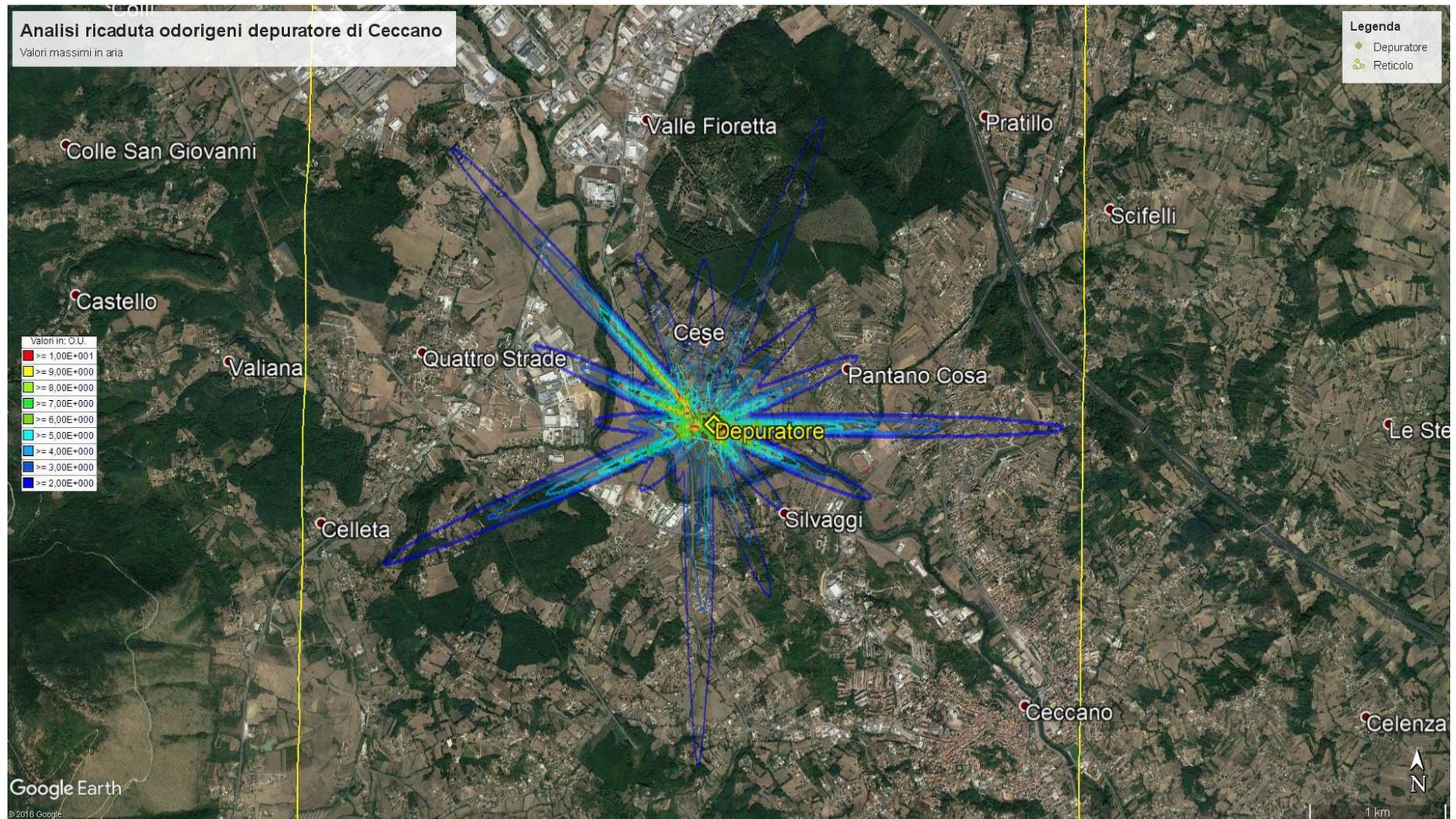


Figura 16 - Ricaduta odorigeni valori di deposizione a terra – Simulazione con i dati di Frosinone

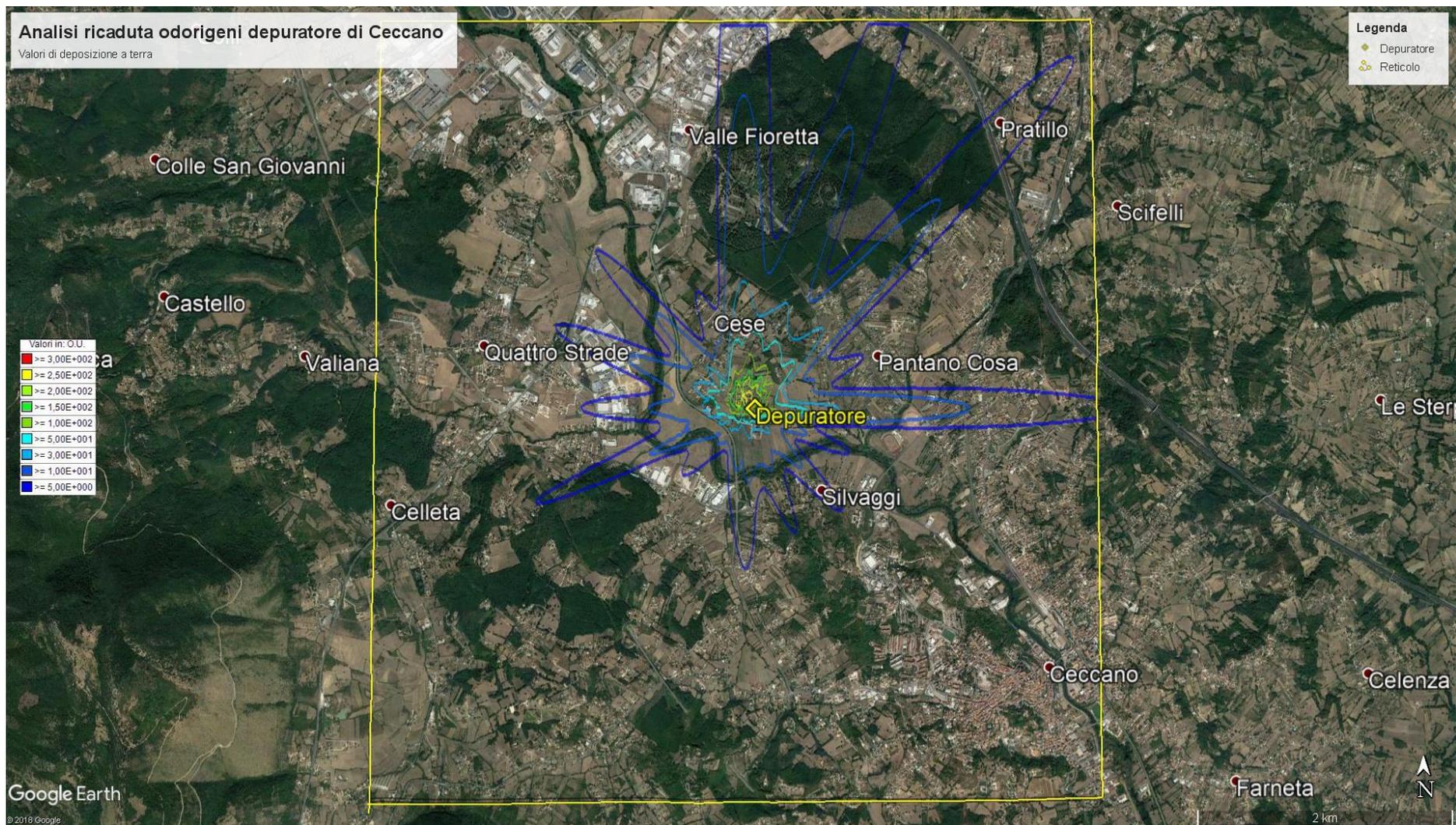


Figura 17 - Ricaduta odorigeni valori massimi in aria – Simulazione di una situazione con venti in direzione di Ceccano

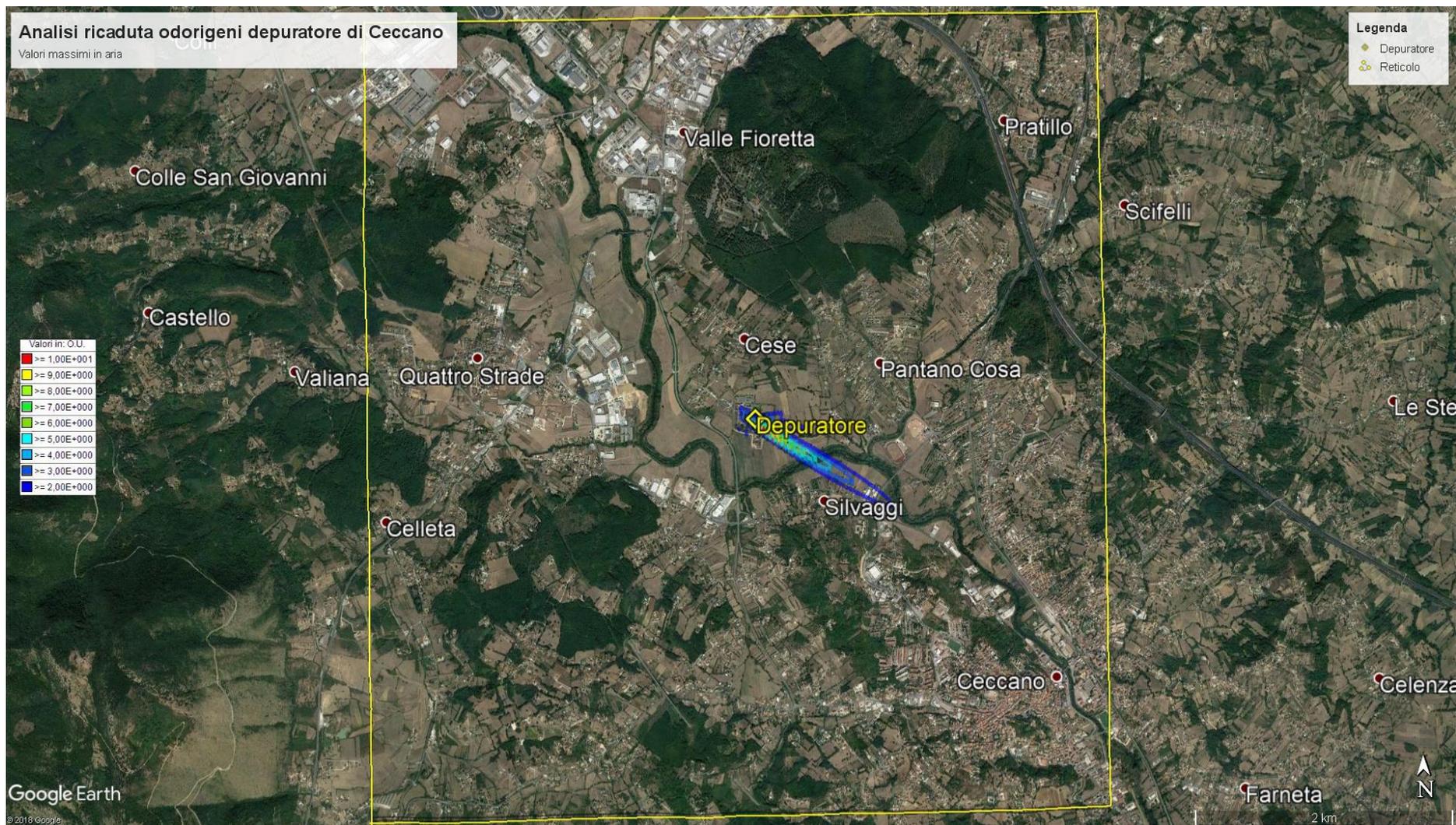


Figura 18 - Ricaduta odorigeni valori di deposizione a terra – Simulazione di una situazione con venti in direzione di Ceccano

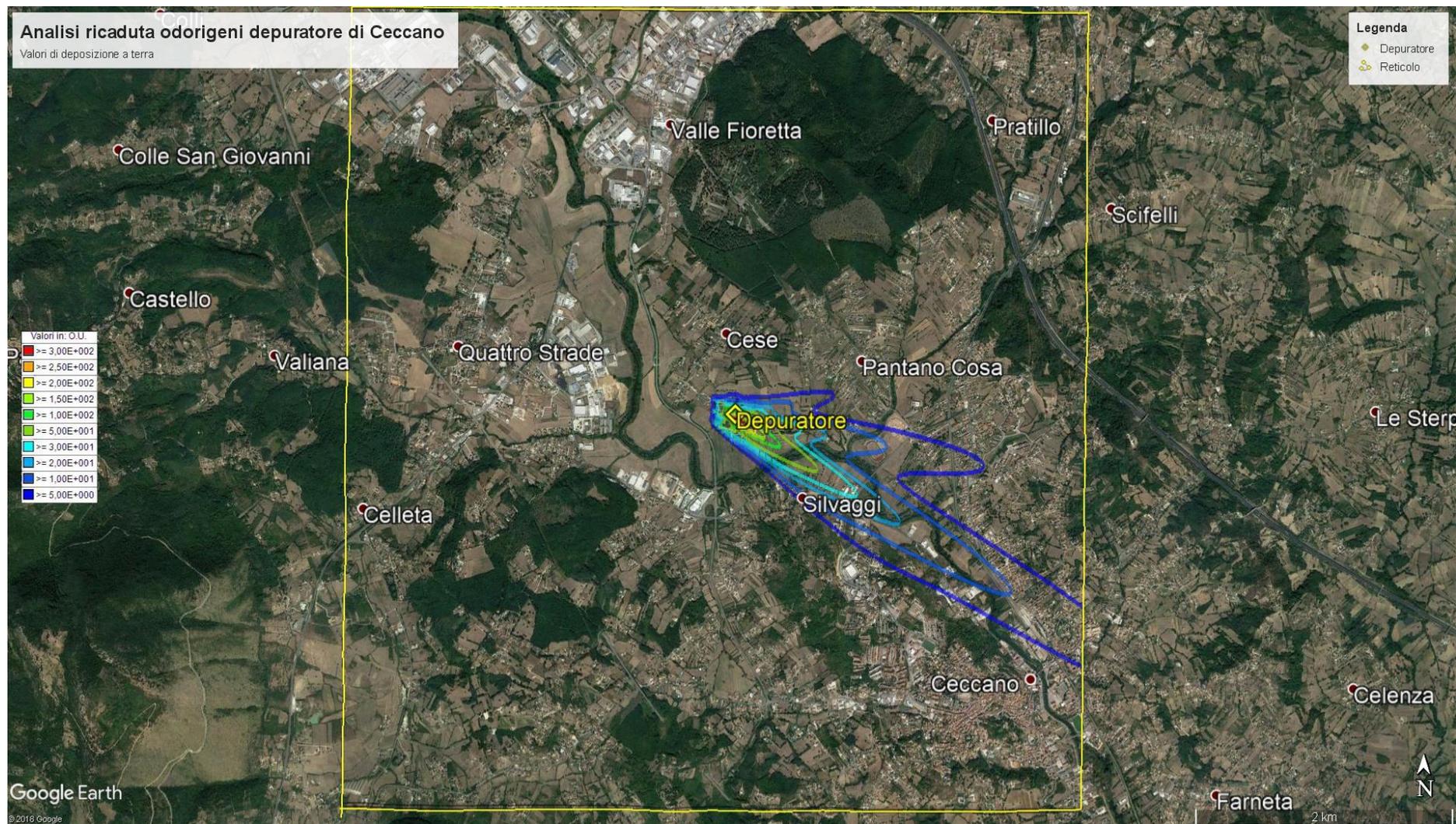


Figura 19 - Punti di massima ricaduta



Si osserva che la massima ricaduta è sempre all'interno del perimetro del depuratore

Conclusioni

Non c'è la presunzione, in questa analisi, di aver coperto la totalità delle possibili situazioni meteorologiche che possano verificarsi, e quindi anche le ricadute di inquinanti che ne derivino; ma i valori riscontrati sono tali da poter affermare che l'impatto veramente significativo del depuratore avvenga in media entro i primi 750 metri di distanza dal centro dell'impianto, a distanze maggiori si può avere una rilevazione di odore in particolare in direzione di Pantano Cosa, Valle Fioretta e nelle aree di Quattro strade.

L'abitato di Ceccano mediamente verrebbe interessato da valori di U.O. pari a circa 2 – 3 quindi appena al di sopra della perceibilità; questo utilizzando i valori derivati dalla simulazione con le condizioni meteorologiche di Frosinone.

Se si esaminano i risultati determinati dall'utilizzo delle condizioni meteorologiche della centralina dell'ARSIAL, si osserva che i valori significativi sono percepibili anche a distanze superiori rispetto a quelle della simulazione sopra citata, ma che in direzione dell'abitato di Ceccano non si ha praticamente nessuna ricaduta significativa.

Il maggiore impatto, in questo caso, si osserva in direzione di Cese, Ficone, Fontana dei Conti e Palmesi; risulta abbastanza evidente dal confronto delle impronte a terra della deposizione di odorigeno nelle due simulazioni che coprono rispettivamente una superficie di 990 e 1100 ettari determinando quindi a parità di emissione valori mediamente più bassi al suolo (circa il 10%).

Nella simulazione costruita ad arte con venti prevalenti in direzione di Ceccano, si determina una ricaduta sensibile (5 U.O.) a circa 3 km in linea d'aria dal depuratore che interessa una parte abbastanza ristretta dell'abitato di Ceccano, circa 25 ettari a nord della ferrovia; la parte dell'abitato a sud del fiume non è interessata da ricadute.

Questa simulazione che, come detto precedentemente, è stata effettuata per riprodurre una giornata di vento nella direzione di Ceccano, ha un'impronta a terra di soli 190 ettari, pertanto i valori di concentrazione al suolo sono nettamente più elevati (5 volte più alti).

Come detto si tratta di una situazione che ha basse probabilità di accadimento, inferiori all'1% stante i dati delle centraline; questo significa circa 3-4 giorni all'anno.

Inoltre, se vediamo, il valore di 10 U.O. che rappresenta la concentrazione di idrogeno solforato (principale componente delle emissioni odorigene di un impianto di depurazione), alla quale si distingue l'odore, questo avviene solo in un'area di installazioni produttive e vengono interessate solo le prime case che si affacciano su statale 637 in prossimità del Villaggio Unra.

Esaminando le sorgenti emissive, l'intervento di collettamento ed abbattimento previsto potrà avere un risultato efficace nella riduzione delle problematiche di disturbo alla popolazione limitrofa all'impianto.

A tal proposito si ribadisce, come già evidenziato in premessa, che la simulazione sarà ripetuta a valle degli interventi previsti.

Allegati

Certificati analitici

Dati stazione di Frosinone Bassa Corso Lazio

Dati stazione ARSIAL

