

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Tesi di Laurea Magistrale

Valutazione dell'impatto odorigeno derivante da impianto di depurazione delle acque reflue



Relatori

Prof.ssa Mariachiara Zanetti

Prof.ssa Deborah Panepinto

Ing. Marco Ravina

Relatore esterno

Ing. Luca De Giorgio

Candidata

Stefania Toscano

Luglio 2018

INDICE

Introduzione	1
1 Riferimenti normativi	3
2 L'impianto SMAT di Castiglione Torinese.....	6
2.1 Inquadramento territoriale e caratterizzazione meteorologica.....	6
2.2 Il gruppo SMAT e la depurazione delle acque reflue urbane	9
2.3 Descrizione dell'impianto	10
2.3.1 Linea Acque.....	10
2.3.2 Linea Fanghi	15
3 La percezione degli odori	18
3.1 La soglia	18
3.2 L'intensità	19
3.3 La diffusibilità.....	20
3.4 Il tono edonico.....	20
3.5 Il meccanismo di azione delle sostanze osmogene	21
3.6 Caratterizzazione fisico-chimica.....	21
4 Tecniche di determinazione degli impatti odorigeni	24
4.1 Analisi chimica.....	24
4.1.1 Raccolta dei campioni.....	25
4.1.2 Analisi gas cromatografia – spettrometria di massa (GC-MS).....	27
4.1.3 Tipi di sensori per le analisi chimiche	28
4.2 Olfattometria	32
4.3 Il naso elettronico.....	33
5 Sviluppo e applicazione di modelli di dispersione degli odori.....	34
5.1 Modelli di dispersione atmosferica	34
5.2 Input del modello	35
5.2.1 Dati meteorologici	35

5.2.2	Dati topografici	36
5.2.3	Dati di emissione	36
6	Le emissioni odorigene negli impianti di trattamento delle acque reflue	39
6.1	Alcuni studi di riferimento	41
6.1.1	Impianto di trattamento delle acque reflue di Torino	41
6.1.2	Altri studi	42
6.2	Misurazione di concentrazione dei singoli componenti odorigeni	44
7	Metodologia.....	45
7.1	Fasi dello studio	46
7.2	Misure di screening.....	50
7.2.1	Campagna di misura del 23-27/10/2017	50
7.2.2	Campagna di misura del 20-24/11/2017	50
7.2.3	Campagna di misura del 10-16/05/2018.....	51
7.3	Correlazioni con i dati meteorologici.....	51
7.3.1	Variabili meteorologiche	51
7.3.2	Modello micrometeorologico	52
8	Risultati.....	56
8.1	Misure di screening.....	56
8.1.1	Campagna di misura del 23-27/10/2017	56
8.1.2	Campagna di misura del 20-24/11/2017	60
8.1.3	Campagna di misura del 10-16/05/2018.....	68
8.1.4	Misurazione e analisi di H ₂ S e speciazione dei VOC.....	69
8.2	Correlazioni fra dati meteorologici e concentrazioni di sostanze odorigene	70
8.3	Modello micrometeorologico.....	74
	Conclusioni	76
	Allegati.....	78
	Allegato I.....	78
	Allegato II	81

Allegato III.....	83
Allegato IV.....	93
Allegato V.....	95
Allegato VI.....	98
Bibliografia.....	105
Ringraziamenti.....	111

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1 Inquadramento satellitare dell'impianto di trattamento delle acque reflue SMAT di Castiglione Torinese	6
Figura 2.2 Settori prevalenti di provenienza dei venti registrati presso la stazione di Caselle, periodo 2004 – 2016	8
Figura 2.3 Settori prevalenti di provenienza dei venti registrati presso la stazione di Caselle, periodo 2004 – 2016 (da aprile a settembre).	8
Figura 2.4 Settori prevalenti di provenienza dei venti registrati presso la stazione di Caselle, periodo 2004 – 2016 (da ottobre a marzo).....	8
Figura 2.5 Rappresentazione delle componenti dell'impianto di Castiglione Torinese.....	11
Figura 4.1 Diagramma schematico della raccolta e analisi dei campioni con gascromatogramma, usando metodi di pre-concentrazione (fonte: Kumar (2007))	25
Figura 4.2 Schema di funzionamento di un sensore allo stato solido con materiale sensibile ai gas, trasduttore ed elettronica di interfaccia (Brattoli et al. (2011))	29
Figura 7.1 Misuratore portatile ION Science, modello TIGER (a sinistra) e GEASS Gas Alert Extreme (a destra).....	47
Figura 7.2 Ubicazione della centralina di misura	49
Figura 7.3 Stazione di misura dei parametri meteorologici.....	49
Figura 7.4 Punti di misura lungo il perimetro dell'impianto SMAT di Castiglione	51
Figura 8.1 Concentrazioni di VOC misurate il giorno 23/10/17	56
Figura 8.2 Concentrazioni di NH ₃ misurate il giorno 23/10/17.....	57
Figura 8.3 Concentrazioni di VOC misurata il giorno 25/10/17. Le concentrazioni di NH ₃ non sono riportate su mappa poiché sono risultate nulle in ciascun punto di misurazione. 57	57
Figura 8.4 Concentrazioni di VOC misurate il giorno 27/10/17	58
Figura 8.5 Concentrazioni di NH ₃ misurate il giorno 27/10/17.....	58
Figura 8.6 Concentrazioni di VOC misurate il mattino del 20/11/17.....	60
Figura 8.7 Concentrazioni di NH ₃ misurate il mattino del 20/11/17.....	61
Figura 8.8 Concentrazioni di VOC misurate il pomeriggio del 20/11/17	61
Figura 8.9 Concentrazioni di NH ₃ misurate il pomeriggio del 20/11/17.....	62
Figura 8.10 Concentrazioni di VOC misurate il mattino del 21/11/17.....	62
Figura 8.11 Concentrazioni di NH ₃ misurate il mattino del 21/11/17.....	63
Figura 8.12 Concentrazioni di VOC misurate il pomeriggio del 21/11/17	63
Figura 8.13 Concentrazioni di NH ₃ misurate il pomeriggio del 21/11/17.....	64

Figura 8.14 Concentrazioni di VOC misurate il mattino del 22/11/17.....	64
Figura 8.15 Concentrazioni di NH ₃ misurate il mattino del 22/11/17.....	65
Figura 8.16 Concentrazioni di VOC misurate il pomeriggio del 23/11/17	65
Figura 8.17 Concentrazioni di NH ₃ misurate il pomeriggio del 23/11/17.....	66
Figura 8.18 Concentrazioni di VOC misurate il mattino del 24/11/17.....	66
Figura 8.19 Concentrazioni di NH ₃ misurate il mattino del 24/11/17.....	67
Figura 8.20 Concentrazioni di VOC misurate nel mese di maggio 2018	68
Figura 8.21 Valori di concentrazione di H ₂ S misurati nel mese di marzo 2018	69
Figura 8.22 Correlazioni tra la temperatura rilevata dalla stazione meteo e la concentrazione di VOC misurata nelle campagne di novembre 2017 e di maggio 2018. Per essere messi a confronto con i dati riferiti alla campagna di maggio, per i valori relativi alla campagna di novembre è stata effettuata una media tra i dati meteorologici della fascia oraria di misurazione e tra le misurazioni nelle varie aree dell'impianto	71
Figura 8.23 Sovrapposizione temperatura (°C) e concentrazione VOC (ppb)	71
Figura 8.24 Correlazioni tra la velocità scalare del vento e la concentrazione di VOC misurata nella campagna di novembre 2017.....	72
Figura 8.25 Correlazioni tra la velocità scalare del vento e la concentrazione di VOC misurata nella campagna di maggio 2018.....	72
Figura 8.26 Correlazioni tra la radiazione solare globale dall'alto media e la concentrazione di VOC (campagna di novembre 2017).....	73
Figura 8.27 Correlazioni tra la radiazione solare globale dall'alto media e la concentrazione di VOC (campagna di maggio 2018).....	73
Figura 8.28 Altezza media giornaliera dello strato limite atmosferico, ottenuta attraverso il metodo di similarità di Monin-Obukhov (campagna di misura 20-24/11/2017).....	74

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2.1 Medie mensili dei parametri meteorologici registrati al suolo nella stazione di Caselle (periodo 2004 – 2016).....	7
Tabella 2.2 Portata media dell'impianto di Castiglione Torinese (fonte: SMAT).....	9
Tabella 2.3 Parametri delle acque reflue in entrata e in uscita dall'impianto di Castiglione Torinese	9
Tabella 3.1 Principali famiglie di composti osmogeni	22
Tabella 3.2 Tensione di vapore e soglie olfattive per alcuni composti odorosi.....	22
Tabella 4.1 Materiali più sensibili al gas per sensori chimici (Brattoli et al. (2011))	29
Tabella 4.2 Trasduttori utilizzati nei sensori chimici allo stato solido (fonte: Brattoli et al. (2011))	30
Tabella 6.1 Analiti rilevati negli impianti di depurazione delle acque reflue (fonte: APAT (2003))	39
Tabella 6.2 Concentrazioni medie (in unità odorigene) per le varie fasi del processo di trattamento delle acque reflue indicate dalle linee guida della Regione Lombardia	41
Tabella 6.3 Risultati della campagna di misura effettuata nell'anno 2001 presso il depuratore delle acque reflue di Torino (Fonte: APAT (2003)).....	42
Tabella 6.4 Concentrazione dei composti (medie e range in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate da Lehtinen et al. (2011).....	43
Tabella 7.1. Valori di concentrazione di VOC misurati durante il sopralluogo preliminare tenutosi in data 7/10/2016.....	48
Tabella 8.1 Concentrazioni massime misurate durante la campagna del 20-24 novembre 2017	68
Tabella 8.2 Analiti caratterizzati da OAV maggiore di 1 e quindi percepiti dall'olfatto umano (Fonte per OT e TLV: AIHA (American Industrial Hygiene Association, 2013))	70
Tabella 8.3 Indici di correlazione di Pearson tra la concentrazione di VOC e i parametri meteorologici.	74

INTRODUZIONE

Il tema delle emissioni odorigene sta rivestendo un'importanza sempre più crescente nello scenario ambientale italiano ed internazionale. La valutazione del disturbo olfattivo e la sua regolamentazione rappresentano aspetti caratterizzati da elevata complessità, dal momento che gli impatti odorosi sono generati da un gran numero di sostanze, talvolta caratterizzate da soglie di percezione molto basse. Il controllo delle molestie olfattive richiede pertanto un approccio di tipo integrato (misurazioni e modellazione matematica).

L'indagine sperimentale descritta nel presente elaborato di tesi ha la finalità di valutare l'impatto odorigeno dell'impianto di trattamento delle acque reflue SMAT di Castiglione Torinese, in modo da poter elaborare in futuro un sistema integrato di monitoraggio delle emissioni odorigene presso l'impianto.

Il lavoro di tesi si sviluppa in otto capitoli, a partire da una prima parte introduttiva fino alla descrizione dell'attività sperimentale e dei risultati.

Dopo un breve capitolo introduttivo sui riferimenti normativi riguardo le emissioni odorigene, si passa ad un capitolo puramente descrittivo sull'impianto SMAT di Castiglione Torinese. Innanzitutto, è presente un inquadramento territoriale e una caratterizzazione meteorologica, in seguito vengono riportati i parametri caratteristici dell'impianto di depurazione delle acque reflue e infine viene descritto nel dettaglio l'impianto e ciascuna fase del trattamento.

Il terzo capitolo tratta la percezione degli odori, partendo dalle principali caratteristiche delle sostanze odorigene (soglia, intensità, diffusibilità e tono edonico) per poi passare alla descrizione del meccanismo di azione delle sostanze osmogene e, infine, ad una caratterizzazione fisico-chimica.

Il quarto capitolo riguarda le tecniche di determinazione degli impatti odorigeni, in cui viene spiegata la differenza tra l'approccio analitico e quello sensoriale. A una dettagliata analisi del metodo chimico, segue una breve descrizione dell'olfattometria e del naso elettronico.

Il quinto capitolo comprende una descrizione generale dei modelli di dispersione atmosferica, seguita dall'elenco degli input necessari per la loro applicazione (dati meteorologici, dati topografici e dati di emissione).

Segue, nel sesto capitolo, un'analisi bibliografica sulle emissioni odorigene negli impianti di trattamento delle acque reflue.

Nel settimo capitolo sono descritte le procedure operative finalizzate alla misurazione delle concentrazioni delle sostanze odorigene. Vengono riportate tutte le fasi dello studio, per poi

concentrarsi sull'esecuzione delle misure in campo, descrivendo ciascuna delle campagne di misura effettuate. Infine, si introduce teoricamente lo studio delle correlazioni con i dati meteorologici, dapprima attraverso un confronto numerico tra le concentrazioni misurate e le variabili riportate dalla centralina meteorologica situata presso l'impianto SMAT, in seguito attraverso un modello micrometeorologico, con la finalità di determinare l'altezza dello strato limite e la lunghezza di Monin-Obukhov.

L'ultimo capitolo illustra i risultati del lavoro di tesi: i valori di concentrazione ottenuti durante la prima fase di misurazione, lo studio di correlazione fra i dati meteorologici e le concentrazioni di sostanze odorigene e, infine, i risultati ottenuti attraverso il modello micrometeorologico.

1 RIFERIMENTI NORMATIVI

L'inquinamento odorigeno consiste nell'immissione in atmosfera di sostanze inquinanti non necessariamente nocive alla salute ma caratterizzate da odore intenso o sgradevole. Le emissioni odorigene vengono per lo più considerate fonte di molestia e causa di insorgenza di malessere psicofisico con conseguente peggioramento della qualità della vita.

In Italia attualmente mancano riferimenti normativi nazionali esaustivi sui livelli accettabili di emissione di odore o di disagio olfattivo. Il Testo Unico sull'ambiente (D.Lgs. 152/06) non prevede alcuna compiuta disposizione in merito all'impatto olfattivo, ma solo cenni (es.: art. 178, il trattamento dei rifiuti deve avvenire "senza causare inconvenienti da odori"). La definizione di "inquinamento" nell'art. 268 del D.Lgs. 152/06, pur non parlando espressamente dell'impatto olfattivo, indirettamente lo considera (infatti le molestie olfattive possono "compromettere gli usi legittimi dell'ambiente").

Il D.M. 29/01/2007 fissa le linee guida per le MTD (o BAT), per gli impianti di trattamento meccanico-biologico soggetti ad AIA: è fissata, per i sistemi di trattamento degli aeriformi, un'efficienza di abbattimento degli odori minima del 99%, in modo da assicurare un valore teorico in uscita dal biofiltro inferiore alle 300 ouE/m³.

La diffusione degli impianti di compostaggio e l'aumento della sensibilità verso il problema degli odori ha determinato l'assunzione a livello regionale di alcuni provvedimenti finalizzati a limitare l'impatto delle emissioni.

Il D.Lgs. 15/11/2017, n. 183, pubblicato nella G.U. 16/12/2017, n. 293, apporta una lunga serie di modifiche ed integrazioni al Codice dell'ambiente (D.Lgs. 152/2006) al fine di dare attuazione alla delega contenuta nell'articolo 17 della Legge di delegazione europea 2015 (L. 170/2016).

L'art. 1 del D.Lgs. 183/2017 apporta modifiche alle norme del Titolo I della Parte Quinta del Codice dell'ambiente, che disciplina le procedure autorizzative e i limiti di emissione in atmosfera di impianti ed attività. In particolare, dopo l'articolo 272 è inserito il seguente:

«Art. 272-bis (Emissioni odorigene). - 1. La normativa regionale o le autorizzazioni possono prevedere misure per la prevenzione e la limitazione delle emissioni odorigene degli stabilimenti di cui al presente titolo. Tali misure possono anche includere, ove opportuno, alla luce delle caratteristiche degli impianti e delle attività presenti nello stabilimento e delle caratteristiche della zona interessata, e fermo restando, in caso di disciplina regionale, il potere delle

autorizzazioni di stabilire valori limite più severi con le modalità previste all'articolo 271:

- *valori limite di emissione espressi in concentrazione (mg/Nm^3) per le sostanze odorigene;*
- *prescrizioni impiantistiche e gestionali e criteri localizzativi per impianti e per attività aventi un potenziale impatto odorigeno, incluso l'obbligo di attuazione di piani di contenimento;*
- *procedure volte a definire, nell'ambito del procedimento autorizzativo, criteri localizzativi in funzione della presenza di ricettori sensibili nell'intorno dello stabilimento;*
- *criteri e procedure volti a definire, nell'ambito del procedimento autorizzativo, portate massime o concentrazioni massime di emissione odorigena espresse in unità odorimetriche (ouE/m^3 o ouE/s) per le fonti di emissioni odorigene dello stabilimento;*
- *specifiche portate massime o concentrazioni massime di emissione odorigena espresse in unità odorimetriche (ouE/m^3 o ouE/s) per le fonti di emissioni odorigene dello stabilimento.*

2. Il Coordinamento previsto dall'articolo 20 del decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155, può elaborare indirizzi in relazione alle misure previste dal presente articolo.

Attraverso l'integrazione dell'allegato I alla Parte Quinta, con le modalità previste dall'articolo 281, comma 6, possono essere previsti, anche sulla base dei lavori del Coordinamento, valori limite e prescrizioni per la prevenzione e la limitazione delle emissioni odorigene degli stabilimenti di cui al presente titolo, inclusa la definizione di metodi di monitoraggio e di determinazione degli impatti.».

Una legge regionale di riferimento è quella della Regione Lombardia (D.G.R. Lombardia n. IX/3018 del 15/02/2012), che rimanda ad una serie di linee guida, che prevedono:

- Allegato 1: criteri per l'esecuzione delle simulazioni di impatto;
- Allegato 2: requisiti ulteriori a quelli della EN 13725 inerenti al campionamento;

- Allegato 3: criteri per la gestione delle lamentele;
- Allegato 4: indicazione per un monitoraggio chimico indirizzato alla determinazione degli inquinanti odorigeni.

2 L'IMPIANTO SMAT DI CASTIGLIONE TORINESE

2.1 Inquadramento territoriale e caratterizzazione meteorologica

L'impianto trattato è quello di depurazione delle acque reflue SMAT di Castiglione Torinese, al confine con il comune di Settimo Torinese (vedasi Figura 2.1). Esso è localizzato sulla riva sinistra del fiume Po, a circa 205 m s.l.m. di altezza. L'area è prevalentemente pianeggiante, costeggiata a sud e sud-est dalla collina torinese.

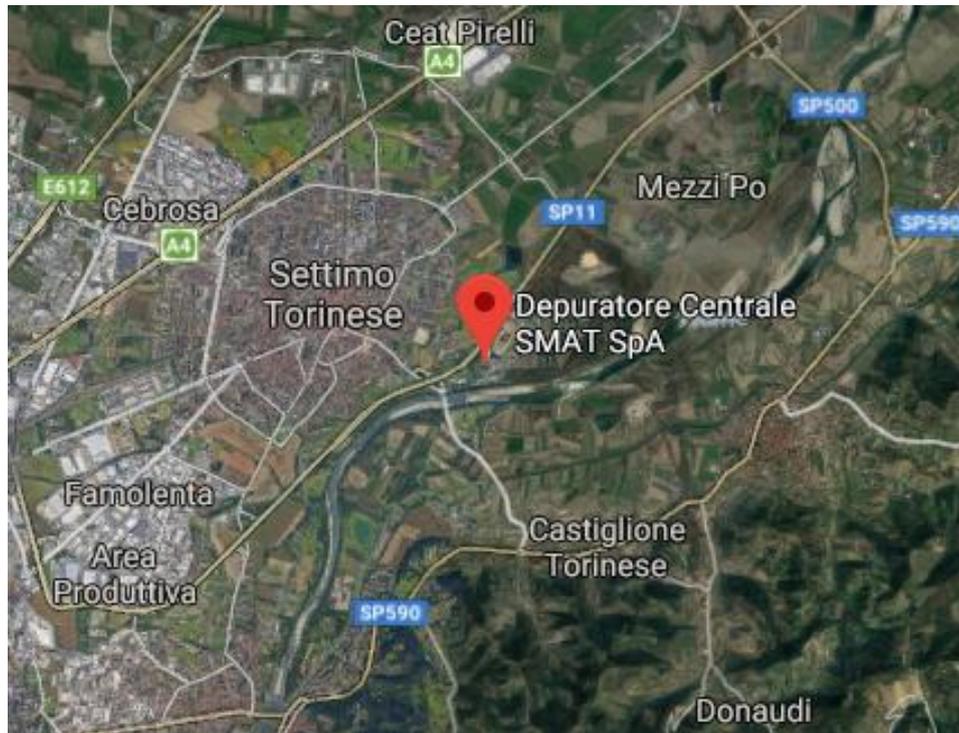


Figura 2.1 Inquadramento satellitare dell'impianto di trattamento delle acque reflue SMAT di Castiglione Torinese

Il Po attraversa una pianura di 38.000 km² in cui vivono oltre 17 milioni di abitanti e dove è ubicata la più grande concentrazione industriale oggi presente in Italia. È dunque soggetto ad un notevole numero di scarichi derivanti dall'attività civile e industriale, rendendone indispensabile la tutela per proteggere l'ecosistema fluviale e la popolazione. Torino e i comuni della cintura sono i primi, tra le grandi aree metropolitane che sorgono nella pianura Padana, ad immettere i propri scarichi nel Po. Quasi 1,5 milioni di abitanti e 1.800 industrie, pari ad oltre 3 milioni di abitanti equivalenti, scaricano annualmente oltre 260 milioni di metri cubi di liquami provenienti da un'area di circa 450 km². L'area metropolitana torinese, pur rappresentando solo l'1,2% del bacino del Po,

contribuisce per circa il 10% al carico inquinante complessivo prodotto dagli scarichi civili ed industriali che interessano l'ambito padano.

In Tabella 2.1 vengono riportati i parametri meteorologici medi registrati dalla stazione di monitoraggio di Caselle, la più vicina al sito per la quale sono disponibili serie storiche complete. I dati sono riportati come medie mensili, riferiti al periodo 2004 – 2016.

Tabella 2.1 Medie mensili dei parametri meteorologici registrati al suolo nella stazione di Caselle (periodo 2004 – 2016).

Mese	Precipitazioni (mm)	Temperatura media (°C)	Umidità media (%)	Velocità media del vento (m/s)	Velocità max raffica di vento (m/s)	Calma di vento (min)	Radiazione totale (MJ/m ²)
Gennaio	30	2,2	78	1,65	16,6	2450	168
Febbraio	44	4,0	73	1,76	14,3	1619	232
Marzo	65	8,9	65	2,08	16,8	1480	398
Aprile	103	13,2	69	2,11	14,9	1323	497
Maggio	125	17,2	68	2,10	16,4	1176	624
Giugno	101	21,6	68	2,04	16,1	993	669
Luglio	75	24,0	64	2,08	19,8	869	722
Agosto	74	22,8	68	1,96	15,5	1028	624
Settembre	103	19,1	73	1,83	15,0	1703	429
Ottobre	65	13,3	81	1,50	12,2	3242	269
Novembre	113	7,5	82	1,54	14,2	3323	178
Dicembre	35	2,7	79	1,45	13,2	2428	147

I dati evidenziano una velocità media del vento piuttosto contenuta, con tempi elevati di calma di vento. Si registrano comunque eventi sporadici di raffiche, con velocità che possono raggiungere circa 20 m/s. Da Figura 2.2 a Figura 2.4 è invece riportata la direzione media dei venti, basata sull'intero anno (Figura 2.2), sulla stagione estiva (da aprile a settembre, Figura 2.3) e sulla stagione invernale (da ottobre a marzo, Figura 2.4). I dati mostrano una direzione prevalente di provenienza da NW, particolarmente predominante nei mesi invernali. Durante i mesi estivi è presente anche un evidente contributo di venti provenienti da ENE.

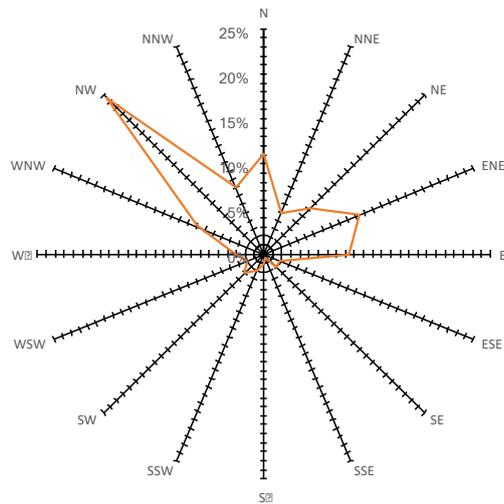


Figura 2.2 Settori prevalenti di provenienza dei venti registrati presso la stazione di Caselle, periodo 2004 – 2016

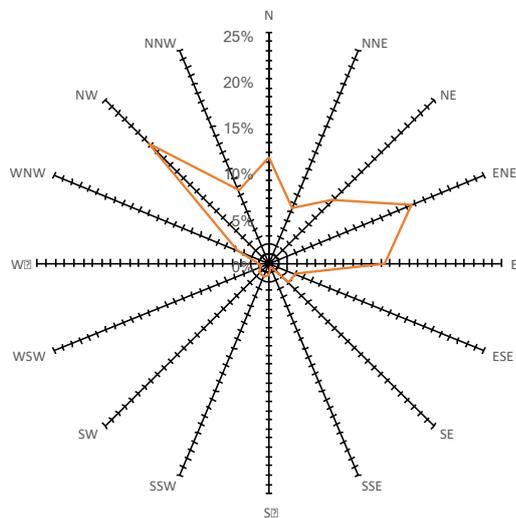


Figura 2.3 Settori prevalenti di provenienza dei venti registrati presso la stazione di Caselle, periodo 2004 – 2016 (da aprile a settembre).

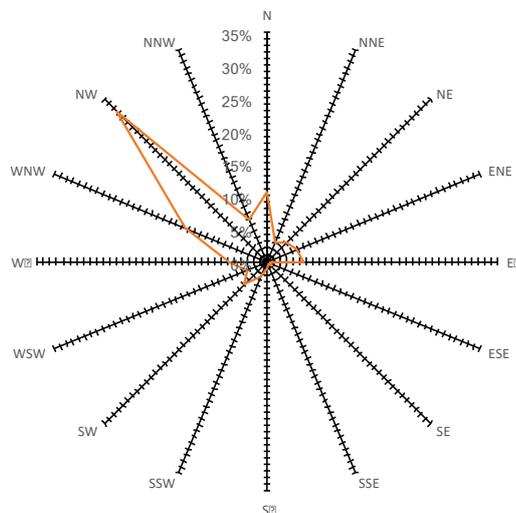


Figura 2.4 Settori prevalenti di provenienza dei venti registrati presso la stazione di Caselle, periodo 2004 – 2016 (da ottobre a marzo).

2.2 Il gruppo SMAT e la depurazione delle acque reflue urbane

Il gruppo SMAT gestisce le fonti di approvvigionamento idrico, gli impianti di potabilizzazione e distribuzione di acqua potabile, le reti di raccolta, depurazione e riuso dei reflui urbani, per un bacino di utenza che supera i 2 milioni di abitanti serviti.

Attivo dal 1984, l'impianto di depurazione centralizzato al servizio della Città di Torino e del suo hinterland è tuttora gestito da SMAT, con una costante attenzione all'innovazione e all'aggiornamento dei processi di depurazione, di recupero energetico e di riuso delle acque reflue. Si tratta del più grande impianto di trattamento chimico, fisico e biologico presente in Italia, con una potenzialità massima di 3.800.000 abitanti equivalenti.

In Tabella 2.2 e Tabella 2.3 sono riportati i dati relativi alla portata media e ai parametri delle acque in entrata e in uscita dall'impianto.

Tabella 2.2 Portata media dell'impianto di Castiglione Torinese (fonte: SMAT)

Portata media giornaliera	600.000 m ³ /d
Portata media oraria	25.000 m ³ /h
Portata oraria diurna	32.000 m ³ /h

Tabella 2.3 Parametri delle acque reflue in entrata e in uscita dall'impianto di Castiglione Torinese

	entrata	uscita
SST medio	200 mg/l	8 mg/l
SST massimo	500 mg/l	30 mg/l
BOD₅ medio	220 mg/l	5 mg/l
BOD₅ massimo	500 mg/l	25 mg/l
COD medio	380 mg/l	30 mg/l
COD massimo	700 mg/l	80 mg/l
NH₄ medio	25 mg/l	2 mg/l
NH₄ massimo	40 mg/l	10 mg/l
N_{tot} medio	31 mg/l	8,4 mg/l
N_{tot} massimo	45 mg/l	14 mg/l
P_{tot} medio	40 mg/l	0,7 mg/l
P_{tot} massimo	65 mg/l	2,0 mg/l

2.3 Descrizione dell'impianto

Le acque reflue sono convogliate all'impianto di depurazione da una rete di collettori intercomunali che si estende per circa 150 km. Le opere realizzate sono in grado di convogliare all'impianto fino a 16 m³/s di liquame, ma la rete è in costante fase di ampliamento e miglioramento. Lungo la rete sono ubicate 6 stazioni di sollevamento che consentono di immettere nelle dorsali principali le acque raccolte a quota più bassa. Alcune notevoli opere idrauliche, costituite da sifoni a gravità, permettono alla rete l'attraversamento del Po e dei suoi affluenti mentre un sistema di telecomando consente di operare dall'impianto sui nodi più funzionalmente significativi della rete.

In Figura 2.5 è riportata la rappresentazione delle componenti dell'impianto di Castiglione Torinese.

L'impianto si suddivide in due linee di trattamento separate, la linea acque e la linea fanghi.

2.3.1 Linea Acque

L'intero processo può essere suddiviso in tre stadi:

- trattamento primario: grigliatura, deodorizzazione, dissabbiatura, disoleazione e decantazione primaria;
- trattamento secondario: processi biologici e decantazione secondaria;
- trattamento terziario: defosfatazione, clorazione e filtrazione finale.

Il comparto linea acqua, composto alla sua nascita da soli due moduli, è stato ampliato nel corso degli anni mediante l'aggiunta nel 1991 di un terzo modulo e nel 2002 di un quarto modulo, progettato per rimuovere l'azoto nitrico mediante un processo di denitrificazione biologica.

2.3.1.1 Pretrattamento

Il liquame in ingresso all'impianto subisce una prima fase di pretrattamento che ha lo scopo principale di eliminare sabbie, solidi grossolani, plastica, stracci ed anche oli e grassi. Questi prodotti, se non fossero eliminati, potrebbero accumularsi sul letto del fiume e rappresentare un pericolo per l'uomo in caso di contatto. La componente oleosa, invece, è responsabile della formazione di schiume e di pellicole impermeabili che ostacolano la riossigenazione del corpo idrico. Per i suddetti motivi, in questo primo passaggio, il liquame è sottoposto a grigliatura, deodorizzazione, dissabbiatura e disoleazione.

● L'IMPIANTO CENTRALIZZATO DI DEPURAZIONE

Potenzialità massima : 3.800.000 abitanti equivalenti (a.e.)



Figura 2.5 Rappresentazione delle componenti dell'impianto di Castiglione Torinese

Grigliatura

La grigliatura avviene all'interno di due edifici attraverso quattro linee, ciascuna composta da:

- 2 sgrigliatori oleodinamici con traliccio a doppio sfilante (larghezza: 2-4 m, passo: 20 mm, passaggio libero: 15 mm);
- 1 nastro trasportatore;
- 1 compattatore del materiale sgrigliato (capacità: 10 m³/h).

Inoltre, all'interno della struttura è posizionata una stazione di clorazione, con relativo serbatoio di ipoclorito e pompa dosatrice, nel caso in cui si ritenesse necessario clorare l'acqua dei servizi per abbattere ulteriormente gli odori all'interno del locale. Il vaglio, circa 1.250 tonnellate annue, è inviato alla discarica AMIAT di Torino.

Deodorizzazione

All'interno dell'edificio grigliatura, vi è un servizio aggiuntivo di deodorizzazione mediante lavaggio acido (acido solforico), basico (soda) e ozonizzazione con una portata d'aria trattata pari circa a 23.000 m³/h.

Dissabbiatura e disoleatura

La sezione di dissabbiatura e disoleatura si compone di quattro coppie di bacini rettangolari, di dimensioni 48 m x 7,5 m x 6,8 m, dotati di sistema di aerazione (tre compressori) per la flottazione delle sostanze oleose e leggere, estrazione delle sabbie mediante air-lift, montati su carroponete, e raccolta delle sabbie. Gli oli vengono raccolti tramite lame raschianti e inviati allo smaltimento mediante autobotti, mentre le sabbie, una volta depurate mediante lavaggio e centrifugazione, sono destinate al recupero nel settore edilizio.

2.3.1.2 Sedimentazione primaria

La decantazione primaria effettua una separazione tra l'acqua ed i solidi, denominati fanghi primari, i quali, dopo essersi depositati sul fondo delle vasche, sono inviati alla linea fanghi. Il processo di sedimentazione avviene in otto vasche circolari (due per ogni modulo), dotate di ponte rotante con lama di raccolta dei fanghi sedimentati in profondità e convogliamento delle morchie in superficie in un schiume - box: questi bacini, di dimensioni pari a 52 m di diametro, una superficie utile di 1.923 m² ed un volume di 7.400 m³, possiedono il fondo delle vasche inclinato verso la zona centrale per permettere l'accumulo e la raccolta dei fanghi primari, operazione coadiuvata dalla lama del ponte rotante. Il liquame arriva ad un calice ripartitore dal quale è distribuito, tramite paratoie motorizzate, alle due vasche di sedimentazione circolari in ogni modulo. La grandezza delle vasche è determinata in modo da garantire un tempo di permanenza del liquame tale da permettere la sedimentazione, (tempo generalmente pari a 2,5 ore, valore

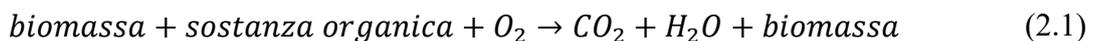
correlato alla velocità ascensionale osservata). La fase liquida in uscita dal sedimentatore primario, contenente gli inquinanti in soluzione, passa alla successiva fase di denitrificazione.

2.3.1.3 Denitrificazione

Dato che in impianto questa fase è posta immediatamente prima alla fase di ossidazione biologica, si parla di denitrificazione biologica. Questa predisposizione è stata introdotta per migliorare la resa del trattamento, la quale è influenzata dalla presenza di carico organico, ed in modo da non dover aggiungere sostanze esterne. Il processo, per i primi tre moduli, si compone di due vasche rettangolari di dimensioni 6 m x 50 m x 45 m, mentre sul quarto modulo, di più recente costruzione, si lavora in serie tra fase denitrificante e ossidante e le vasche prettamente di denitrificazione sono sei, di dimensioni 6 m x 40 m x 20 m: in totale, perciò, si hanno dodici vasche anossiche con un volume complessivo di 110.000 m³. In testa alle vasche, sono presenti gli ingressi per il ricircolo dei nitrati, prodotti nell'ossidazione biologica, e per il ricircolo dei fanghi provenienti dai sedimentatori secondari. Per mantenere la corretta agitazione, in ogni vasca sono presenti dei mixer sommersi posti a diverse profondità, che forniscono un'energia di miscelazione e permettono al refluo di muoversi all'interno della vasca.

2.3.1.4 Ossidazione

Lo stadio di ossidazione, tramite una flora batterica carbonio-ossidante, permette di ossidare gli inquinanti presenti nel liquame e trasformarli in sostanze meno o per nulla tossiche, come acqua e anidride carbonica. La reazione generica è:



I microrganismi hanno bisogno per la loro crescita di BOD, di nutrienti (N e P) e di energia, la quale è fornita dalla reazione esotermica di reazione del carbonio. In questo passaggio l'ossigeno rappresenta il composto capace di cedere elettroni, quindi è opportuno avere in vasca una concentrazione di ossigeno disciolto sufficiente. In particolare, in questa sezione con condizioni aerobiche avviene la fase di nitrificazione, dove organismi nitrificanti assorbono energia direttamente dall'ossidazione dell'azoto ammoniacale, che viene trasformato prima in azoto nitroso e successivamente in azoto nitrico:



Mediamente si registra un tempo di permanenza di 4,5 ore e un'età del fango che può variare fra gli 8 ed i 12 giorni. Quota parte dei nitrati prodotti in questa sezione, dopo aver attraversato le vasche di degasaggio, funzionali al consumo dell'ossigeno, vengono riciccolati nelle vasche di denitrificazione, mentre il fango prodotto viene separato attraverso la successiva fase di chiarificazione secondaria. L'impianto dispone di sei vasche di ossidazione per modulo: i primi tre

moduli hanno bacini di dimensioni 18 x 52 x 28, mentre quelli del quarto sono pari a 6 x 83 x 20. In totale, quindi, si hanno ventiquattro vasche con un volume ossidante complessivo pari a 210.000 m³.

Per garantire la corretta concentrazione di ossigeno, il liquame viene aerato mediante insufflazione di aria a bolle fini dal basso, tramite 59.000 diffusori costituiti da piastre porose circolari, attraverso le quali viene pompata l'aria da dodici turbocompressori a portata variabile di circa 800 kW di potenza. Al fine di non inibire la reazione biologica, la concentrazione di ossigeno in vasca non deve essere inferiore a 2 mg/l: tale valore viene rilevato in continuo mediante l'uso di sonde per la misurazione dell'ossigeno disciolto.

2.3.1.5 Sedimentazione secondaria

Il liquame in uscita dalla vasca di ossidazione biologica è costituito da una ridotta concentrazione di inquinanti in soluzione e da fiocchi di fango: effettuando una sedimentazione è possibile separare queste due fasi ottenendo così un liquido chiarificato. La sedimentazione secondaria avviene in 24 vasche circolari del diametro di 54 m ciascuna (sei per ogni modulo) con un tempo di permanenza del liquame in vasca di circa 4 ore. La profondità è di circa 4,7 m, con un'altezza al bordo pari a circa 3,2 m: i bacini sono inoltre dotati di ponti raschiatori con ricircolo rapido del fango a mezzo di sifoni in funzionamento continuo. Ciò che sedimenta e si raccoglie sul fondo, il fango secondario, può subire due destinazioni:

- ricircolo ed invio in testa alla fase di denitrificazione: dato che occorre porre attenzione a non rompere ulteriormente i fiocchi di fango, non si utilizzano pompe centrifughe, ma tre coclee, della portata di 4.400 m³/h ciascuna;
- convogliamento alla linea fanghi mediante quattro pompe centrifughe (in questo caso non interessa avere i fiocchi di fango interi).

La fase liquida, chiarificata, contenente una concentrazione di inquinanti notevolmente ridotta viene avviata tramite dei canali di uscita al trattamento terziario.

2.3.1.6 Trattamento terziario

Defosfatazione

La defosfatazione viene fatta mediante co-precipitazione chimica dei fosfati per additivazione di sali di ferro nei fanghi di ricircolo. Il cloruro ferrico è stoccato in silos dal volume complessivo pari a circa 480 m³ ed è dosato nel canale, che porta i fanghi secondari estratti alle coclee: durante questo tragitto si opera in modo da ottenere la giusta miscelazione.

Clorazione

La clorazione è effettuata in testa ai sedimentatori secondari con ipoclorito di sodio in soluzione commerciale al 15% con l'obiettivo, oltre a disinfettare l'acqua, di abbattere le schiume che si possono essere create durante il trattamento biologico. Questa fase può essere usata come clorazione di emergenza, quando richiesto, e per la quota di acque che non viene scaricata in Po ma viene convogliata all'acquedotto industriale.

Filtrazione finale

Il flusso in uscita dai sedimentatori secondari viene mandato alla filtrazione finale, dove tramite 27 filtri multistrato (letti a riempimento in ghiaia, antracite e sabbia) si opera il trattamento di finissaggio. I filtri sono dotati di dispositivo di controlavaggio ad acqua ed aria compressa che entra in funzione all'intasamento dello stesso. Le acque di controlavaggio, contaminate dai residui, sono raccolte e rimandate a monte della sezione di dissabbiatura, in modo da ricominciare il ciclo di trattamenti.

2.3.2 Linea Fanghi

I fanghi provenienti dalla linea acqua sono sottoposti nella fase di preispessimento ad un primo addensamento affinché aumenti la concentrazione. Il prodotto ispessito è raccolto in un pozzo di accumulo e da qui pompato nei digestori mentre le acque di risulta, come tutte le altre ottenute nelle successive fasi, vengono inviate in testa all'impianto per il trattamento. La fase di digestione realizza la mineralizzazione di parte della sostanza organica, la quale consiste in una trasformazione in sostanza inorganica attraverso l'azione di batteri anaerobi che si sviluppano alla temperatura di 35°- 38°C alla quale viene mantenuto il fango nei digestori. Tale trasformazione comporta la produzione di gas biologico (biogas), composto per circa il 70% da metano e per circa il 30% da anidride carbonica: esso in parte è ricircolato all'interno dei digestori per permettere l'agitazione dei reattori ed in parte viene stoccato in gasometri per la successiva combustione nei motogeneratori o nelle caldaie. Il calore recuperato, tramite scambiatori acqua/fango, permette di mantenere a temperatura costante i digestori primari: il processo si completa nei digestori secondari, serbatoi non riscaldati, dove dopo circa trenta giorni di permanenza il fango termina il processo di mineralizzazione. Dopo un ulteriore addensamento nella fase di postispessimento, il fango, che ha ora raggiunto una concentrazione di circa il 4% di sostanza secca, viene condizionato mediante l'aggiunta di sale ferrico e latte di calce, al fine di farlo precipitare in fiocchi e di migliorarne le caratteristiche di filtrabilità. Nella fase finale di disidratazione vengono impiegate filtropresse a camere e telai, nelle quali il fango, pompato fino ad una pressione massima di 16 bar, raggiunge un tenore di secco superiore al 40% ed è così reso idoneo allo smaltimento nelle discariche dei rifiuti urbani. La fase finale di disidratazione è anche condotta per mezzo di quattro

centrifughe ad alte prestazioni, che trattano il fango filtrato e condizionato con polielettroliti sottoponendolo ad una forza centrifuga di circa 3.000 giri. Il fango disidratato è trasferito ai silos di stoccaggio mediante pompe alternative ad alta pressione ed è adatto al recupero in agricoltura come ammendante organico oppure come ammendante compostato. Parte del fango disidratato viene pompato all'impianto di essiccamento costituito da un essiccatore a riscaldamento indiretto a olio diatermico con singolo passaggio. Il fluido termovettore, olio diatermico, è riscaldato in una caldaia a metano. Il vapore prodotto (fumane) è condensato con recupero di acqua calda a 80°C utilizzata per riscaldare i digestori.

Gli incondizionabili sono inviati al deodorizzatore e le condense in testa alla linea acqua per il trattamento. Il fango essiccato è inertizzato dopo 8 -10 ore intorno alla temperatura di 101-107 °C e viene prodotto sotto forma di piccoli granuli. Dalla combustione del biogas prodotto nel corso dell'intero processo di trattamento, in misura di circa 55.000 Nm³/giorno, si ottiene il fabbisogno di calore di tutto l'impianto e circa il 50% del fabbisogno di energia elettrica, consentendo un notevole risparmio economico.

2.3.2.1 Preispessimento

Il preispessimento avviene per gravità in sei vasche con ponte sospeso rotante per la raccolta del sedimento: l'estrazione del fango avviene sia dal fondo sia da tre uscite a livelli differenti. Le acque di risulta escono attraverso stramazzo circolare superiore. Il fango preispessito (4% s.t.) è raccolto in un pozzo di accumulo da cui viene pompato alla successiva fase di digestione anaerobica, mentre in un altro pozzo si deposita il fango in ingresso.

2.3.2.2 Digestione anaerobica

La digestione anaerobica avviene mediante processo anaerobico con sei digestori primari (tre coppie), di diametro 26 m ed altezza 30 m, riscaldati e dotati di dispositivo di agitazione con ricircolo di biogas mediante compressori a palette. Il biogas viene filtrato e stoccato in tre gasometri di 16.890 m³ di volume complessivo per essere successivamente utilizzato nella combustione dai motogeneratori oppure in caldaia.

2.3.2.3 Ricircolo dei fanghi con pompe centrifughe

Il ricircolo dei fanghi è effettuato mediante l'impiego di pompe centrifughe, mentre il riscaldamento degli stessi avviene con scambiatori di calore acqua/ fango e con successivo recupero di calore dai motogeneratori o mediante riscaldamento con caldaie a metano/biogas.

2.3.2.4 Postispessimento

Il postispessimento è effettuato a gravità in quattro vasche coperte analoghe ai preispessitori.

2.3.2.5 Condizionamento chimico

Il condizionamento chimico si realizza mediante miscelazione con sali di ferro e latte di calce. Lo stoccaggio del fango così condizionato è realizzato in sei vasche coperte.

2.3.2.6 Disidratazione

La disidratazione è condotta per mezzo di sei filtropresse a piastre di capacità pari a 68 m³ ciascuna, le quali trattano il fango condizionato con calce e cloruro ferrico. Il caricamento avviene mediante pompe monovite a pistone/membrana con pressione massima di 16 bar, mentre il fango, estratto mediante nastri trasportatori, viene condotto allo stoccaggio provvisorio interno e quindi prelevato per lo smaltimento in discarica oppure per il recupero in agricoltura come ammendante organico. Un risultato analogo è ottenuto per mezzo di quattro centrifughe ad alte prestazioni di capacità pari a 80 m³/ora ciascuna, le quali trattano il fango condizionato con polielettroliti. Il caricamento di queste ultime avviene attraverso appositi filtri mediante pompe monovite.

2.3.2.7 Essiccamento

Il fango disidratato con centrifuga viene dosato all'essiccatore per mezzo di una pompa alternativa a pistone. L'essiccatore a pale a riscaldamento indiretto con olio diatermico a 200°C provvede all'evaporazione termica dell'acqua contenuta. Mentre le fumane vengono condensate con recupero di calore per il riscaldamento dei digestori e gli incondensabili vengono inviati al deodorizzatore, le condense vengono rinviate in testa alla linea acque per il trattamento.

2.3.2.8 Recupero energetico

La sezione di recupero energetico è costituita da quattro motori a gas accoppiati ad alternatori da 1.000 kWe di potenza. Il calore recuperato dall'acqua di raffreddamento e dai gas di scarico è utilizzato per il riscaldamento del fango a 38 °C nei digestori.

2.3.2.9 Deodorizzazione

La deodorizzazione comporta un lavaggio dell'aria, estratta dai pre e postspessori e dalle filtropresse, prima con una soluzione acida (acido solforico), poi con una soluzione basica (idrossido di sodio), in aggiunta ad ipoclorito di sodio, per ulteriore disinfezione finale. Questo processo ha una capacità oraria fino a 96.000 Nm³/h.

3 LA PERCEZIONE DEGLI ODORI

La percezione degli odori è un processo estremamente complesso. Infatti, dal punto di vista fisiologico si tratta di un processo attivato dai recettori presenti nel naso, stimolati dalle molecole odorogene disperse nell'aria, mentre a livello psicologico il processo è attivato dalle esperienze che soggettivamente vengono associate ad un determinato odore.

Ad oggi, non è ancora possibile predire una sensazione odorosa a partire dalla sola struttura chimica dell'odorante. Esistono, infatti, meccanismi di inibizione, come l'iperosmia, l'iposmia e l'anosmia, ma anche meccanismi che accrescono gli stimoli di bassa intensità, incrementando la sensazione odorosa, o anche alterazioni di tipo qualitativo, come la parosmia.

In generale, si possono identificare le principali caratteristiche degli odori come:

- percettibilità o soglia;
- intensità;
- diffusibilità;
- tono edonico.

3.1 La soglia

L'odore è strettamente correlato alla presenza di alcune sostanze, che possono essere anche tossiche o nocive. Questo significa che oltre una determinata concentrazione possono comportare vari tipi di reazioni nell'organismo. Per individuare tali limiti si utilizzano delle soglie olfattive, che rappresentano la percentuale di un gruppo di persone che riconosce la presenza di un odore.

In presenza di una sostanza odorigena, è possibile distinguere le seguenti soglie:

- soglia di percezione assoluta o di rilevabilità (*ATC, Absolute Threshold Concentration*, oppure *OT, Odor Threshold*), cioè la concentrazione alla quale l'odore viene sicuramente rilevato;
- soglia di riconoscimento delle sostanze responsabili dell'odore, cioè la concentrazione alla quale l'individuo è in grado, non solo di rilevare l'odore, ma anche di riconoscerne le sostanze responsabili;
- soglia di fastidio o di contestazione, cioè la concentrazione a cui un odore produce una sensazione sgradevole.

Nel caso vi sia una sovrapposizione di più sostanze odorogene, si possono verificare diverse correlazioni:

- indipendenza: $R_{AB} \leq R_A \text{ o } R_B$
- additività: $R_{AB} = R_A R_B$

- sinergia: $R_{AB} > R_A R_B$
- antagonismo: $R_{AB} < R_A R_B$

dove con R_{AB} si indica la soglia di percezione assoluta (OT) della miscela ottenuta dai composti A e B e con R_A e R_B la soglia OT rispettivamente di A e B puri.

Nonostante gli odori sgradevoli non siano considerati patogeni, la loro presenza produce uno stato di malessere tale da condizionare il comportamento della persona e da provocare delle attività riflesse a livello gastrico, salivare e cutaneo. A tal proposito, in ambienti di lavoro si fa riferimento al parametro TLV (*Threshold Limit Value*), cioè la massima concentrazione a cui un lavoratore può essere esposto durante la vita lavorativa senza subire effetti patogeni. Un rapporto fra OT e TLV inferiore all'unità indica che le sostanze vengono percepite all'olfatto prima di determinare i propri effetti tossici, viceversa le altre.

I limiti di soglia di tossicità sono utilizzabili nel caso sia presente una sola sostanza odorosa, se invece l'odore è dovuto alla presenza di più sostanze è necessario considerare gli effetti combinati. Se non è specificato altrimenti, occorre considerare gli effetti delle diverse sostanze nocive come additivi, a favore di sicurezza.

Si definisce il RAT (*Relative Atmospheric Toxicity*) la sommatoria dei rapporti fra la concentrazione della sostanza i-esima e il relativo TLV:

$$RAT = \sum_n \frac{c_n}{TLV_n} \quad (3.1)$$

Per atmosfera non nociva occorre avere $RAT \leq 1$. In caso di indipendenza, i singoli termini costituenti il RAT devono essere tutti inferiori all'unità. In caso di sinergia o antagonismo si avrà:

$$RAT = \sum_n \frac{c_n}{TLV_n} K \leq 1 \quad (3.2)$$

dove K è maggiore di 1 per effetti sinergici e minore di 1 per effetti antagonisti.

3.2 L'intensità

L'intensità è correlata alla concentrazione di sostanza odorosa.

Per esprimere le concentrazioni vengono spesso utilizzate unità arbitrarie, come il numero di odore (TON, *Threshold Odor Number*), definito come il numero di diluizioni con aria deodorizzata per ridurre la concentrazione della sostanza fino alla soglia di percettibilità:

$$TON = \frac{A + B}{A} \left[\frac{ou}{m} \right] \quad (4.3)$$

dove A indica il volume in ml di campione odoroso e B il volume in ml di aria deodorizzata per raggiungere la soglia di percettibilità.

3.3 La diffusibilità

La diffusibilità è un parametro che permette di valutare la pervasività degli odori, cioè la capacità di una classe di analiti di diffondere verso l'alto e dunque di provocare un minore impatto sulle zone circostanti.

La capacità di diffusione dell'odore di un determinata sostanza può essere valutata in base alla tensione di vapore della sostanza, anche se è necessario analizzarla congiuntamente alla soglia olfattiva. A questo scopo è necessario introdurre l'OI, *Odor Index*, cioè il rapporto (adimensionale) tra la tensione di vapore della sostanza, in ppm, e la soglia (100%) della sostanza stessa, sempre in ppm. Se l'OI è inferiore a 10^5 il composto è considerato poco odorigeno, viceversa i composti con valori più elevati di OI sono considerati odorigeni. In particolare, i mercaptani possono raggiungere valori di OI pari a 10^9 .

3.4 Il tono edonico

Gli odori possono essere classificati in modo qualitativo attraverso la scala del tono edonico. Zwaardemaker (1925) ha proposto una classificazione in cui si distinguono nove classi:

1. etereo (frutta);
2. aromatico (chiodi di garofano);
3. balsamico (fiori);
4. ambrosio (muschio);
5. agliaceo (cloro);
6. empireumatico (caffè tostato);
7. caprilico (formaggio);
8. repellente (belladonna);
9. fetido (corpi in decomposizione).

La classificazione proposta da Pelosi (1994), invece, identifica otto odori primari (cioè con una forma che ben si adatta al ricettore specifico, ma interagisce poco con altri ricettori).

In generale i composti odorosi possono essere raggruppati:

- per famiglie (composti azotati, solforati, insaturi, ossigenati, alogenati) o per gruppi funzionali (aldeidico -CHO, carbonilico -CO, carbossilico -COOH, amminico -NH₂, idrossilico -OH);
- per struttura, in quanto le differenze strutturali possono determinare cambiamenti qualitativi e quantitativi delle proprietà dell'odorante;
- per forma, a causa delle correlazioni tra forma della molecola e odore;
- per la grandezza dell'anello.

3.5 Il meccanismo di azione delle sostanze osmogene

Nonostante vi siano ancora delle incertezze a proposito del meccanismo con cui avviene la sollecitazione dei ricettori da parte di una sostanza, si fa usualmente riferimento a due ipotesi: quella fisica e quella chimica.

Secondo la prima, le molecole sono in continuo movimento con moti di tipo oscillatorio, rotazionale e vibrazionale, producendo radiazioni con una lunghezza d'onda specifica per ogni molecola. Le radiazioni interagiscono con le strutture dell'epitelio olfattivo, costituite in sostanza da minuscole cavità da cui si dipartono le ciglia, che si estendono fino alla superficie.

L'ipotesi chimica identifica la modificazione chimica fra sostanze e mucosa olfattiva come la causa principale della percezione di un odore. Si ritiene che le molecole dalla forma complementare o simile a quella dei ricettori presenti nell'epitelio siano in grado di adattarsi secondo un meccanismo "chiave-serratura". Ogni odore è composto quasi sempre da molte molecole diverse, ognuna delle quali si lega a diversi recettori. Dalla combinazione finale si ottiene l'identità dell'odore, che viene decodificata dal cervello, attraverso uno stimolo prodotto dalla modificazione dello stato elettrico delle cellule ricettrici.

3.6 Caratterizzazione fisico-chimica

Sono stati effettuati numerosi studi sulla correlazione tra la stereochimica della molecola e l'odore. I principali parametri molecolari sono: la dimensione, la forma, la presenza e la posizione di gruppi funzionali.

La dimensione può essere valutata attraverso il peso molecolare, che deve essere inferiore a 300 g/mole. Molecole di dimensione superiore, infatti, sarebbero poco volatili e non troverebbero ricettori in grado di accoglierle.

La forma dipende principalmente dalla presenza e dalla posizione dei gruppi funzionali. Le proprietà olfattive non sono determinate tanto dalla natura del gruppo funzionale quanto dalla sua posizione nella molecola.

In Allegato I sono riportati i valori di soglia olfattiva tratti dal lavoro *Measurement of Odor Threshold by Triangle Odor Bag Method*, di Yoshio Nagata del Japan Environmental Sanitation Center (Nagata, 1990).

In Tabella 3.1 sono riportati i principali gruppi di composti osmogeni, con le relative sensazioni olfattive e formule chimiche.

Tabella 3.1 *Principali famiglie di composti osmogeni*

Gruppo di composti	Composto	Sensazione olfattiva	Formula chimica
Composti solforati	Idrogeno solforato	Uova marce	H ₂ S
	Metilmercaptano	Cavolo in decomposizione	CH ₃ SH
	Etilmercaptano	Cavolo in decomposizione	CH ₃ CH ₂ SH
	Dimetilsolfuro	Vegetali in decomposizione	(CH ₃) ₂ S
	Dimetildisolfuro	Vegetali in decomposizione	(CH ₃) ₂ S ₂
	Dietilsolfuro	Vegetali in decomposizione	(CH ₃ CH ₂) ₂ S
	Solfuro di carbonio	Dolciastro, pungente	CS ₂
	Solfuro di difenile	Gomma bruciata	(C ₆ H ₅) ₂ S
Composti azotati	Ammoniaca	Pungente	NH ₃
	Metilammina	Pesce	CH ₃ NH ₂
	Dimetilammina	Pesce	(CH ₃) ₂ NH
	Trimetilammina	Pesce	(CH ₃) ₃ N
	Scatolo	Fecale nauseabondo	C ₉ H ₇ N
	Piridina	Disgustoso	C ₅ H ₅ N
	Indolo	Fecale nauseabondo	C ₈ H ₇ N
Acidi organici	Acetico	Aceto	CH ₃ COOH
	Butirrico	Burro rancido	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH
Aldeidi	Butirrica	Pungente, rancido	CH ₃ (CH ₂) ₂ CHO
	Isovalerianica	Mela	CH ₃ (CH ₂) ₃ CHO
	Acroleina	Pungente e penetrante	CH ₂ =CHCHO

L'impatto odoroso di una sostanza è influenzato dalle seguenti proprietà:

- tensione di vapore, indice della volatilità della sostanza e, di conseguenza, della facilità di diffondere e di venire a contatto con gli organi ricettori dell'olfatto (vedasi Tabella 3.2);
- idrosolubilità e liposolubilità, in quanto affinché una sostanza venga recepita occorre che prima si possa diffondere adeguatamente nelle mucose nasali e poi nelle terminazioni delle cellule neurosensoriali;
- adsorbibilità, direttamente proporzionale alla capacità della sostanza odorigena di legarsi alle ciglia dei recettori.

Tabella 3.2 *Tensione di vapore e soglie olfattive per alcuni composti odorosi*

Sostanza	Tensione di vapore (atm, 20°C)	OT (ppb)
Scatolo	0,002	0.01
Acido butirrico	0,75	1
Etilammina	1,14	200
Dimetilammina	1,66	46
Metilammina	2,92	20
Cloro	6,57	20 – 9.000
Ammoniaca	8,46	38 – 57.000
H ₂ S	17,7	0.5 - 10
Etano	37,28	120.000 (ppm)
Acetilene	43,11	620.000
Tetracloruro di carbonio	91,0	95.000
Acetone	184,8	13.000
Disolfuro di carbonio	297,5	110
Etere	442,2	8.900

In generale, i composti odorosi riscontrabili nell'ambiente sono i seguenti:

- composti azotati;
- composti solforati;
- composti non saturi;
- composti ossigenati;
- composti alogenati.

4 TECNICHE DI DETERMINAZIONE DEGLI IMPATTI ODORIGENI

Il problema della misurazione dell'odore può essere affrontato con due approcci diversi: quello analitico per identificare, separare e quantificare i composti che costituiscono la miscela odorosa, quello sensoriale per valutarne l'effetto utilizzando il naso come sensore.

4.1 Analisi chimica

I metodi analitici possono essere applicati in presenza di una correlazione tra la concentrazione dell'odorante e la percezione dell'odore.

Non è nota una relazione quantitativa che legghi la composizione chimica di un'aria osmogena con la sua concentrazione di odore; un'informazione utile, anche se parziale, è fornita dal calcolo degli *Odor Activity Value* (OAV) delle sostanze che costituiscono una miscela odorigena, ottenuto dal rapporto tra la concentrazione di ogni analita e la sua soglia di percezione olfattiva (*Odor Threshold*, OT); la somma degli OAV di una miscela (SOAV) è proporzionale in prima approssimazione alla sua concentrazione di odore.

L'analisi chimica degli inquinanti organici contenuti nella corrente gassosa odorosa permette una separazione dei diversi analiti presenti nella corrente, e in alcuni casi la loro identificazione; tramite analisi GC-MS è in genere determinabile, con l'aiuto di dati di letteratura, la classe di appartenenza della sostanza odorigena analizzata.

La caratterizzazione chimica delle emissioni odorogene risulta particolarmente utile, in secondo luogo, nel caso sia necessario verificare e convalidare le previsioni di un modello di dispersione dell'odore, mediante analisi delle ricadute sui recettori di composti in tracce emessi dalle sorgenti. Gli analiti devono essere portati a concentrazioni compatibili con la sensibilità dello strumento di misura. Dopo il campionamento, il procedimento di analisi prosegue con le seguenti fasi:

- l'arricchimento o pre-concentrazione del campione;
- il trasferimento degli analiti intrappolati allo strumento analitico;
- la separazione dei diversi componenti presenti;
- l'analisi qualitativa e quantitativa degli stessi.

Il prelievo del campione viene effettuato dopo pre-concentrazione mediante:

- assorbimento su reattivi chimici o soluzioni di lavaggio specifiche;
- adsorbimento su substrati solidi, la cui scelta viene effettuata in funzione del tipo di composti da campionare;

- condensazione a basse temperature mediante tecniche di congelamento;
- adsorbimento a basse temperature su un substrato creando un'interfaccia gas-liquido.

In ogni caso è necessario:

- per il campionamento per adsorbimento, evitare contaminazioni e reazioni sul substrato;
- assicurare la presenza nel campione di tutti i composti, poiché non sono noti gli effetti reciproci di mascheramento e/o esaltazione;
- assicurare la non saturazione del substrato durante il prelievo e il desorbimento quantitativo dell'analita. Nel caso si verificano fenomeni di assorbimento irreversibile, è necessario quantificare anche la resa di estrazione.

La fase successiva di desorbimento può avvenire fornendo calore, utilizzando solventi oppure per stripping di sostanze organiche volatili, in corrente di vapore. Il primo metodo, oltre al fatto di essere rapido, ha il vantaggio di non necessitare di grandi manipolazioni del campione; non può però essere utilizzato nel caso di sostanze termolabili. Il secondo, invece, ha il vantaggio di essere maggiormente selettivo, perché si basa sull'affinità fra solvente e sostanza da estrarre.

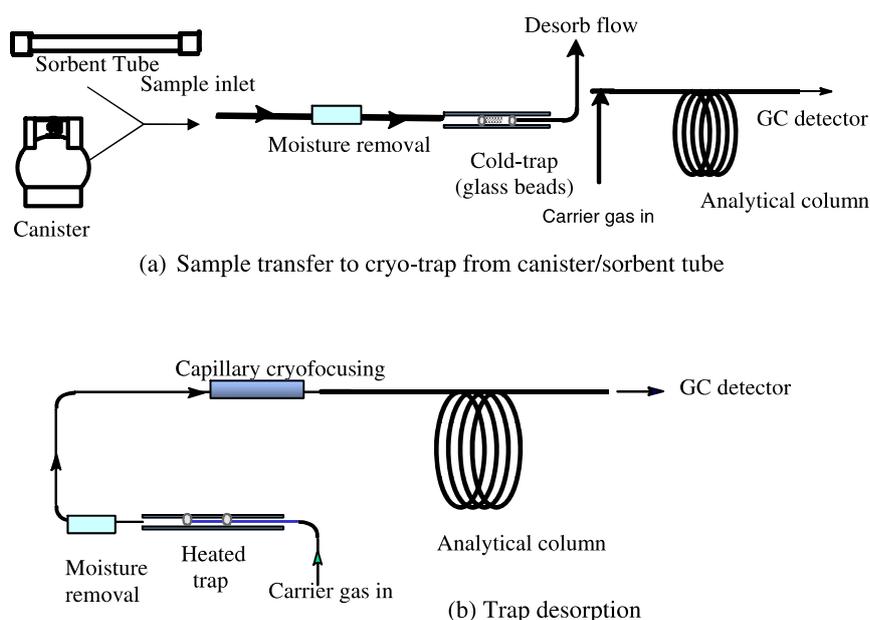


Figura 4.1 Diagramma schematico della raccolta e analisi dei campioni con gas-cromatogramma, usando metodi di pre-concentrazione (fonte: Kumar (2007))

4.1.1 Raccolta dei campioni

La raccolta dei campioni può essere eseguita in due modalità: raccogliendo l'aria in contenitori di volume definito oppure tramite adsorbimento su apposito materiale.

I contenitori usati più comunemente per il campionamento dell'aria comprendono i canister in acciaio inox, sacchetti in materiale plastico e bulbi in vetro. I materiali assorbenti possono essere di diverso tipo.

4.1.1.1 Canister

Il campionamento con canister comporta la raccolta di tutta la matrice d'aria in un cilindro evacuato pulito precedentemente. I principali vantaggi di questo sistema di campionamento sono i seguenti:

- il campione effettivo dell'aria viene raccolto senza fenomeni di breakthrough;
- assenza di problemi di degradazione del materiale raccolto;
- l'umidità non ha alcun effetto sul campionamento;
- possibilità di eseguire analisi duplicate del campione.

Gli svantaggi del metodo, invece, sono:

- richiesta di apparecchiature di campionamento complesse;
- richiesta di una severa procedura di pulizia tra i campionamenti;
- il flusso tende a diminuire verso la fine del campionamento, in quanto la differenza tra la pressione del serbatoio e la pressione ambiente diminuisce;
- per ottenere un buon recupero dei composti dal canister, la pressione del campione dovrebbe essere più alta possibile senza causare precipitazione di acqua dello stesso;
- a causa della presenza di specie reattive, potrebbero verificarsi reazioni in fase gas e la conseguente trasformazione e perdita di composti target.

4.1.1.2 Contenitori in plastica

Contenitori in plastica (come Nalophan, Tedlar, Teflon o Tedlar alluminizzato) sono semplici da usare, poco costosi e sono disponibili in vari formati, normalmente da 500 ml a 100 l di volume. I sacchetti di plastica vengono puliti ripetutamente riempiendo la sacca con azoto puro o aria ultravioletta e scaricandoli con piccole sottopressioni.

4.1.1.3 Campionamento su materiale adsorbente

Rispetto ai canister, il campionamento su sorbenti consente di raccogliere un volume di gas maggiore. Inoltre, i tubi sorbenti sono più facili da gestire. La selezione di idonei adsorbenti è critica in quanto dipende dalla matrice del campione e dal composto da raccogliere. Per i composti non volatili e fortemente adsorbiti il recupero del campione rimane la fase complicata; d'altro canto i solventi molto volatili possono causare problemi di breakthrough (possono passare attraverso l'adsorbente senza essere intrappolati). Inoltre, l'adsorbente deve evitare risultati non riproducibili e contaminazione. Una completa e dettagliata descrizione delle caratteristiche dei materiali adsorbenti è riportata in Kumar e Viden (Kumar A., 2007).

4.1.1.4 Campionamento attivo

Secondo questa tecnica, i campioni, sia di corta che lunga durata di campionamento, possono essere raccolti su adsorbenti fissati in un tubo appropriato, con l'uso di una pompa di campionamento.

I fattori che limitano la selezione della portata sono i seguenti:

- la diffusione dell'analita può verificarsi ad una velocità equivalente al flusso d'aria di circa 1 ml/min;
- la diffusione dell'analita presenta errori significativi quando si usano le portate di pompa inferiori a 10 ml/min;
- esiste un rischio significativo di entrata del componente dall'estremità posteriore del tubo, se si utilizzano flussi di pompaggio eccessivi.

Un vantaggio di questa tecnica consiste nella possibilità di campionare volumi di aria più elevati. Inoltre, permette di utilizzare più adsorbenti in serie, facilitando così la raccolta di un'ampia gamma di campioni. I diversi tipi di adsorbenti possono essere posizionati in un unico tubo di raccolta (i singoli supporti adsorbenti dovrebbero essere separati utilizzando una garza in acciaio o una spugna di vetro), o in tubi separati collegati con accoppiamenti inerti.

4.1.1.5 Campionamento passivo

Si tratta di una tecnica di campionamento basata sul flusso libero di molecole dell'analita dal mezzo di campionamento a un mezzo di raccolta, a seguito di una differenza di concentrazione dell'analita tra i due supporti. Il flusso netto di molecole di analiti da un mezzo all'altro continua finché non si stabilisce l'equilibrio nel sistema o finché la sessione di campionamento non viene terminata dall'utente.

Le limitazioni critiche del campionamento passivo sono la capacità sorbente e il tasso di assorbimento (in caso di dosaggi elevati) e il tempo di risposta e la sensibilità (in caso di dosaggi bassi).

I vantaggi di questa tecnica sono i costi inferiori e l'indipendenza dalle pompe, soggette a controlli regolari e possibili errori nella portata.

4.1.2 Analisi gas cromatografia – spettrometria di massa (GC-MS)

Il metodo più diffuso per l'analisi GC/MS di campioni gassosi è il metodo TO-15 dell'Environmental Protection Agency statunitense (US EPA). Le condizioni analitiche del metodo consentono l'analisi quantitativa di gran parte delle Sostanze Organiche Volatili (SOV).

Un materiale adsorbente comunemente utilizzato è la resina Tenax.

L'acquisizione dell'analisi in modalità "scansione" permette di registrare gli spettri di massa di tutti i composti analizzati e quindi di identificarli; per l'analisi quantitativa, si ricorre alla calibrazione del sistema GC/MS con soluzioni gassose sintetiche di riferimento per le sostanze più comuni.

Il limite di sensibilità del metodo in modalità "scansione" è inferiore a 1 µg/m³ per la maggior parte delle sostanze analizzate, e dipende dal volume di campione analizzato (1-2 litri); per la ricerca di sostanze odorogene particolari o traccianti nelle immissioni, si ricorre alla tecnica SIM (*Selected Ion Monitoring*), che raggiunge sensibilità comprese tra 0.01 e 0.1 µg/m³, analizzando volumi di aria da 2 a 8 litri.

I composti di interesse odorigeno da determinare mediante GC/MS, perché dotati di odore sgradevole e/o soglia di percezione molto bassa, sono:

- composti solforati: tioli, tioeteri, ditioeteri, tioesteri;
- composti azotati: ammine alifatiche, indoli, piridine, pirazine;
- composti ossigenati: alcoli, eteri, esteri, aldeidi, chetoni, acidi, fenoli, furani; idrocarburi: olefine, idrocarburi aromatici.

Tipicamente il tracciato cromatografico ottenuto da un'emissione mostra la presenza di più di cento componenti; di questi, almeno una ventina contribuiscono significativamente alle proprietà odorogene del campione, che possono essere ricavate dalla somma dei loro OAV e confrontate con il risultato dell'analisi olfattometrica.

4.1.3 Tipi di sensori per le analisi chimiche

I sensori chimici devono essere reattivi alle molecole in fase gassosa. Questo comporta che debbano comprendere un materiale appropriato e chimico-sensibile, interfacciato con un trasduttore, come mostrato in Figura 4.2. I sensori allo stato solido sono essenzialmente costituiti da un'interfaccia sensibile chimicamente e da un trasduttore in grado di convertire un input chimico (concentrazione di gas o di ioni) e/o un input fisico (temperatura, pressione, accelerazione) in un output, generalmente un segnale elettrico, attraverso un'elettronica di condizionamento e/o di elaborazione del segnale. I valori in input includono variabili chimiche e/o biologiche, come la concentrazione e l'identità di specie sconosciute in fase gassosa o liquida. Un processo di trasduzione viene messo in atto convertendo l'evento o la misura in ingresso in un segnale elettrico in uscita (tensione analogica o corrente, tensione digitale) correlato al misuratore che lo genera. Il segnale elettrico in uscita è adeguatamente condizionato, elaborato e memorizzato per l'analisi.

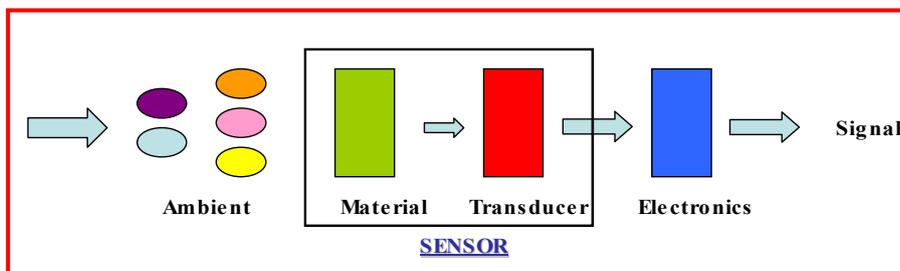


Figura 4.2 Schema di funzionamento di un sensore allo stato solido con materiale sensibile ai gas, trasduttore ed elettronica di interfaccia (Brattoli et al. (2011))

Tra i sensori per gas, quelli basati sulla sensibilità chimica degli ossidi metallici a semiconduttore sono facilmente reperibili e sono i più utilizzati per la creazione di matrici per la misurazione degli odori. Da un approfondito studio della letteratura si può risalire ad una lista dei materiali più comuni per le misurazioni degli odori, riportata in Tabella 4.1.

Tabella 4.1 Materiali più sensibili al gas per sensori chimici (Brattoli et al. (2011))

Class of Materials	Sensor Materials	Technology
Thin-film metal oxides (MOX)	SnO ₂ , ZnO, WO ₃ , In ₂ O ₃ , TiO ₂ , MoO ₃ , etc.	- Sputtering - Evaporation
Conducting polymers (CP)	Polypyrroles, polytiophenes, etc.	- Electrochemical - Casting - Spin-coating
Supramolecular materials	Metal-porphyrins, phthalocyanines, etc.	- Electrochemical - Solvent casting
Thick-films MOX	SnO ₂ , ZnO, WO ₃ , In ₂ O ₃ , TiO ₂ , MoO ₃ , etc.	- High-temperature material processing - Sol-gel
Functional inorganic materials	Metal catalysts (Pt, Pd, Au, Ag, Ru, Ti, W, Ta, Mo, Cu, etc.), dopants, etc.	- Sputtering - Evaporation
Molecular organic materials	Cavitands, receptors, enzymes, antibodies, proteins, biomolecules, DNA, etc.	- Casting - Langmuir-Blodgett
Composites	Fillers in host-matrix	- Langmuir-Blodgett - Chemical routes - PVD techniques
Nanomaterials	<i>MOX nanostructures</i> : nanowires, nanotubes, nanorods, nanocrystals, nanoparticles, etc. <i>Carbon nanostructures</i> : nanotubes, nanowalls, nanofibers, nanoplatelets, etc.	- CVD - PVD - Chemical routes

dove:

- PVD = Physical Vapor Deposition;
- CVD= Chemical Vapor Deposition

La classificazione dei sensori chimici può essere realizzata in base al trasduttore utilizzato. Le diverse categorie di sensori chimici allo stato solido sono differenziate dal principio fisico della trasduzione del segnale, applicando una distinzione tra i seguenti trasduttori: conduttometrici

(resistivi), ottici, elettrochimici, meccanici/acustici o ultrasonici, termici e MOSFET. Una classificazione dettagliata dei sensori chimici allo stato solido è riportata in Tabella 4.2, che illustra il principio di funzionamento, i metodi di fabbricazione del sensore e alcune osservazioni tecniche.

Tabella 4.2 *Trasduttori utilizzati nei sensori chimici allo stato solido (fonte: Brattoli et al. (2011))*

Transducer	Principle of operation	Methods of Fabrication	Input/Output
Conductometric	Electrical Conductivity: • Conducting Polymers • Metal Oxides	PVD Microfabrication MEMS Screen printing	$\Delta c \rightarrow \Delta \sigma \rightarrow \Delta i \rightarrow \Delta V$
Optical	Absorption; Emission Fluorescence Chemiluminescence Evanescent Wave Fiber Optics	Dip coating MEMS Microfabrication	$\Delta c \rightarrow \Delta n \rightarrow \Delta I \rightarrow \Delta i \rightarrow \Delta V$
Electrochemical	Ionic Conductivity: • Amperometric • Potentiometric • Voltammetric	Screen printing Dip coating MEMS Microfabrication	$\Delta c \rightarrow \Delta \sigma \rightarrow \Delta i \rightarrow \Delta V$
Thermal	Flow of thermal energy: • Catalytic • Pyroelectric • Calorimetric	PVD Microfabrication	$\Delta c \rightarrow \Delta T \rightarrow \Delta i \rightarrow \Delta V$
MOSFET	Charge capacitive coupling	Microfabrication	$\Delta c \rightarrow \Delta \Phi \rightarrow \Delta i \rightarrow \Delta V$
Ultrasonic or Mechanical or Acoustic	Piezoelectricity: • QCM • SAW • TFBAR	PVD Screen printing Microfabrication MEMS	$\Delta c \rightarrow \Delta m \rightarrow \Delta f$ $\Delta c \rightarrow \Delta m \rightarrow \Delta f, \Delta \phi$

dove:

- MEMS = Micro Electro-Mechanical Systems;
- QCM = Quartz Crystal Microbalance;
- SAW = Surface Acoustic Wave;
- TFBAR = Thin Film Bulk Acoustic Resonator;
- Δc = variazione di concentrazione;
- $\Delta \sigma$ = variazione di conducibilità elettrica;
- Δi = variazione di corrente;
- ΔV = variazione di tensione;

- Δn = variazione dell'indice di rifrazione;
- ΔI = variazione dell'intensità luminosa;
- ΔT = variazione di temperatura;
- $\Delta \phi$ = variazione della funzione di lavoro;
- Δm = variazione della massa;
- Δf = variazione di frequenza;
- $\Delta \varphi$ = variazione della fase dell'onda acustica

I sensori sono caratterizzati dai seguenti parametri:

- Sensibilità: è una misura dell'ampiezza del segnale in uscita prodotto in risposta a una determinata grandezza in ingresso (perturbazione/stimolo), o il rapporto tra due grandezze non omogenee di segnale in uscita / misura in ingresso;
- Tempo di risposta: indica il tempo che il segnale del sensore impiega per passare dal 10% al 90% della sua escursione per raggiungere un nuovo stato stazionario durante la dinamica di risposta.
- Tempo di ripristino: indica il tempo che il segnale del sensore impiega per passare dal 90% al 10% della sua escursione per raggiungere un nuovo stato stazionario durante le dinamiche di recupero.
- Risoluzione: fissato un punto operativo, è la misura della variazione minima della grandezza in ingresso alla quale il sensore è in grado di rispondere per un determinato rapporto segnale / rumore.
- Limite di rilevazione (LOD): è la concentrazione minima del gas che un sensore è in grado di rilevare per un determinato rapporto segnale / rumore.
- Selettività: caratterizza la capacità del sensore di distinguere una determinata grandezza di input da un'altra misurazione appartenente a una classe diversa.
- Drift: è la risposta del segnale in uscita del sensore causata non da un ingresso esterno, ma da ragioni intrinseche al sensore (materiale del sensore, elettronica).
- Stabilità: è l'abilità del sensore a mantenere costante nel tempo le sue caratteristiche metrologiche; in altre parole, la sua risposta nel tempo.
- Ripetibilità: è la risposta del segnale in uscita del sensore nei confronti di un determinato misurando fisso in ingresso, in diverse misurazioni ripetute.

4.2 Olfattometria

Il metodo sensoriale per la determinazione dell'odore comunemente utilizzato prende il nome di olfattometria e utilizza per la misura un gruppo di valutatori, che elabora un giudizio sulla percettibilità dell'emissione.

L'olfattometria consiste nel presentare l'aria osmogena, diluita con aria deodorizzata, a un *panel* di persone selezionate, per registrare infine le sensazioni risultanti nell'uomo. Tale misura ha principalmente l'obiettivo di determinare la concentrazione di odoranti non noti con l'aiuto dell'olfatto umano come sensore. Contrariamente all'analisi chimica, quella olfattometrica non fornisce l'identificazione di una sostanza o di un gruppo di sostanze, ma le "unità di odore" della miscela gassosa.

In tale modo è dunque possibile "numerizzare" una sensazione creando così un metodo per misurare la reale molestia olfattiva (comunque del tutto soggettiva).

Tramite l'elaborazione delle risposte del panel è possibile arrivare al numero di diluizioni necessarie affinché l'odore venga percepito, giungendo al numero di unità di odore al metro cubo del campione in esame.

L'importanza di questo tipo di analisi consiste nel fatto che la sola analisi chimica non è sufficiente a identificare la molestia olfattiva. Esistono, infatti, effetti sinergici e di mascheramento per cui la concentrazione di odore (OU/m^3) di una miscela di composti non è data dalla somma algebrica delle unità odorimetriche dei singoli elementi ma da altre relazioni. Può accadere che la miscela presenti un odore avvertibile nonostante ogni singola sostanza sia sotto la soglia olfattiva (effetto sinergico) o, viceversa, è possibile che alcune sostanze oltre la soglia olfattiva, accostate ad altri analiti, formino una miscela dall'odore non avvertibile (effetto mascherante).

Il metodo olfattometrico prevede:

- il campionamento degli analiti odorigeni;
- l'analisi in camera olfattometrica tramite l'utilizzo di un olfattometro e di un *panel* di persone opportunamente addestrate;
- l'elaborazione dei risultati.

A differenza della consolidata analisi chimica, quella olfattometrica può avere dei problemi dovuti alla novità della metodologia. Non sono infatti molti i laboratori olfattometrici che in Italia fanno misure di questo tipo.

4.3 Il naso elettronico

Si tratta di uno strumento che permette la riproduzione dell'olfatto umano, effettuando l'individuazione e l'interpretazione dell'odore.

L'apparecchio è costituito da un sistema di campionamento della sostanza da analizzare e da una matrice di sensori la cui risposta è rilevata da un'opportuna elettronica, che si interfaccia con un PC dove vengono elaborati i segnali. In particolare, la sua architettura può essere suddivisa essenzialmente in tre componenti:

- sistema di rilevazione dei gas, formato da sensori (che simulano l'azione dei recettori) in grado di rispondere a una vasta gamma di odoranti;
- sistema di elaborazione dei segnali provenienti dai sensori, che ha la funzione di comprimere l'informazione (simulando l'azione del bulbo olfattivo);
- sistema di identificazione/riconoscimento degli odori: un sistema di elaborazione sofisticato identifica gli odori confrontandoli con un insieme di esempi, ovvero di dati già immagazzinati (simulando così l'azione del cervello).

5 SVILUPPO E APPLICAZIONE DI MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI ODORI

A seguito della continua evoluzione delle conoscenze scientifiche sulle dinamiche del Planetary Boundary Layer (PBL), è stata sviluppata una vasta gamma di modelli di dispersione degli inquinanti aerodispersi, che simulano il modo in cui gli inquinanti diffondono nell'atmosfera e ricadono al suolo. Il ricorso all'impiego di tali modelli è, infatti, previsto dalla normativa nazionale sulla qualità dell'aria, per superare le problematiche dovute allo scarso numero di postazioni di misura delle reti di rilevamento in rapporto alle dimensioni e alle differenti caratteristiche fisiche e meteorologiche del territorio, che impedirebbe di ottenere un quadro esaustivo della distribuzione spazio-temporale della concentrazione dei vari inquinanti di interesse.

5.1 Modelli di dispersione atmosferica

I modelli più semplici sono quelli stazionari analitici a pennacchio. Tra questi, i più tradizionali sono i modelli gaussiani, per i quali la dispersione turbolenta è parametrizzata con coefficienti empirici derivati da campagne sperimentali (Gifford, 1959) (Pasquill, 1961) (Smith, 1995). Le condizioni critiche per l'uso di tali modelli sono i venti deboli (condizioni di calma) e il terreno complesso (Thomson, 2001).

I modelli a puff (Cao, 2011) rappresentano un'estensione dei modelli gaussiani a plume e permettono di ricostruire i valori di concentrazione in condizione non omogenee e non stazionarie, rappresentando un pennacchio a partire da una serie di elementi indipendenti (*puff*, sbuffi) che evolvono nel tempo in funzione delle condizioni meteorologiche variabili temporalmente e spazialmente (Jung, 2003). I modelli a puff applicati alla dispersione degli odori sono in grado di simulare le caratteristiche istantanee della percezione degli odori (De Melo Lisboa, 2006).

I modelli di particelle lagrangiane e i modelli di griglia euleriani (modelli 3-D) sono strumenti più avanzati per la simulazione della dispersione atmosferica. Il primo simula la dispersione degli inquinanti emessi con particelle computazionali che si muovono nel campo del vento e il campo di turbolenza tridimensionale. Questi ultimi risolvono numericamente le equazioni di diffusione dell'inquinante emesso nel dominio tridimensionale suddiviso in griglie di dimensioni variabili (Nguyen, 1997). I loro limiti consistono nella conoscenza incompleta dei meccanismi di turbolenza e dell'elevato tempo di calcolo richiesto per le simulazioni complesse (Lagzi, 2004) (Wilson, 1996).

I modelli più complessi sono modelli fluidodinamici (es. CFD: Computational Fluid Dynamics), che risolvono equazioni tridimensionali per vento, temperatura, umidità e concentrazioni

(Pontiggia, 2009). Tali modelli sono utilizzati per simulazioni estremamente dettagliate e spaziali, considerando all'interno del modello la presenza di ostacoli o edifici, e sono attualmente applicati anche alla modellazione della dispersione degli odori (Maïzi, 2010).

Tutte le tipologie di modelli sopra menzionate, in alcuni casi con opportune precauzioni, possono essere applicate con successo alla simulazione della dispersione degli odori. La scelta del modello più adeguato a una data applicazione dovrebbe essere valutata caso per caso in base a diversi fattori. I modelli di stato stazionario (vale a dire i modelli di pennacchi gaussiani semplici o avanzati) possono essere applicati con successo quando il risultato richiesto è la *worst-case condition*.

In generale, i modelli più comunemente utilizzati per la modellazione della dispersione degli odori sono i modelli gaussiani (ad es. AERMOD) e CALPUFF.

5.2 Input del modello

Per l'applicazione di un modello di dispersione atmosferica, sono necessari almeno tre diversi tipi di dati di input: dati meteorologici, topografici e di emissione (Capelli, 2011).

5.2.1 Dati meteorologici

I dati meteorologici necessari per la modellazione della dispersione includono la velocità del vento, la direzione del vento e le informazioni sulle condizioni di stabilità atmosferica (cioè altezza di miscelazione e turbolenza), che possono essere derivate da altri parametri meteorologici, quali umidità, temperatura e profili di velocità del vento, così come copertura nuvolosa o radiazione solare (globale o netta).

I modelli di dispersione più vecchi, cioè i semplici modelli di pennacchio gaussiano, si basano sull'uso delle classi di stabilità di Pasquill-Gifford-Turner per la caratterizzazione della dispersione verticale e laterale (EPA, 1995). Invece, la nuova generazione di modelli a dispersione a corto raggio, inclusi i modelli di plume Gaussiani più complessi come ISC3, AERMOD e ADMS, usano il coefficiente di similarità di Monin-Obukhov per descrivere la struttura della turbolenza nello strato limite superficiale. La concentrazione a livello del suolo è generalmente espressa in termini di variabili specifiche, come la velocità di attrito superficiale e la lunghezza di Monin-Obukhov, che contengono informazioni sulla turbolenza e il vento medio che governano la dispersione (Vankatram, 2004).

I modelli più sofisticati, non stazionari, come i modelli lagrangiani a puff (ad esempio, CALPUFF, SCIPUFF) o di particelle (ad esempio, NAME, AUSTAL), i modelli euleriani (ad esempio, CMAQ, CALGRID) e ibridi (ad es. HYSPLIT), hanno in comune la possibilità di inserire un set di dati tridimensionale di informazioni meteorologiche. Come per i modelli gaussiani avanzati,

questi modelli calcolano i coefficienti di dispersione internamente con varie parametrizzazioni raffinate usando parametri micrometeorologici importati o valutati (Caputo, 2003).

Un aspetto importante da considerare quando si sceglie la stazione meteorologica è la sua distanza dalla fonte di emissione: in caso di terreno complesso, la stazione meteorologica deve essere situata nella stessa valle o in una posizione tale da essere rappresentativa delle condizioni del vento.

La frequenza di registrazione dei dati e l'estensione del dominio del tempo di simulazione possono dipendere dagli scopi della simulazione. In generale, per la valutazione dell'impatto degli odori e il confronto con i criteri di accettabilità come la frequenza del superamento di una data concentrazione di odori, come previsto dalla maggior parte delle normative sugli odori in tutto il mondo (Mahin, 2001), i dati dovrebbero essere registrati per almeno un anno completo, con una frequenza oraria, o superiore (es. ogni 15 minuti).

Se non sono disponibili dati meteorologici sufficienti dalle stazioni vicine, è possibile condurre indagini meteorologiche supplementari utilizzando una stazione mobile installata nel sito in esame. La durata di questi sondaggi può essere più breve dell'intero dominio di simulazione, ma dovrebbe essere sufficiente per consentire di estrapolare l'andamento dei parametri meteorologici per l'intero dominio del tempo.

5.2.2 Dati topografici

Il dominio spaziale della simulazione dovrebbe essere scelto in modo da includere tutte le fonti di emissione da studiare e i recettori che si ritiene siano influenzati dagli odori emessi, indicandone le coordinate geografiche, ovvero latitudine e longitudine, nell'UTM-WGS84 (Universal Transverse of Mercator - World Geodetic System 1984) o UTM-Gauss-Boaga.

Se l'orografia del terreno inclusa nel dominio spaziale è complessa, i suoi effetti devono essere presi in considerazione nelle simulazioni, adottando algoritmi appropriati e impostando le elevazioni di ciascun punto del recettore della griglia di simulazione.

5.2.3 Dati di emissione

Per quanto riguarda la simulazione della dispersione di qualsiasi inquinante, anche nel caso della dispersione di odori, non è sufficiente considerare la concentrazione di inquinanti (odore), ma è necessario tenere conto del flusso d'aria associato alla fonte di odore monitorata. In caso di odore, il parametro da considerare ai fini della modellazione della dispersione è il tasso di emissione degli odori (OER), che è espresso in unità di odore al secondo (ouE/s), ed è ottenuto come il prodotto della concentrazione di odore e il flusso d'aria associato alla sorgente. Il flusso d'aria volumetrico deve essere valutato in condizioni normali per l'olfattometria: 20 ° C e 101,3 kPa su umido (CEN, 2003).

Il metodo per la stima di OER da una fonte di odore dipende dalla tipologia di fonte. Quella del caso in studio può essere considerata una sorgente areale, in cui le emissioni provengono tipicamente da superfici liquide estese. In questo caso, è necessario effettuare la seguente distinzione: sorgenti attive, che hanno un flusso d'aria in uscita (ad esempio, biofiltri o cumuli aerati) e sorgenti passive, dove non c'è flusso d'aria in uscita e il flusso di massa dalla superficie all'aria (volatilizzazione) è dovuto a fenomeni come l'equilibrio o la convezione (ad esempio, superfici di discariche e vasche per il trattamento delle acque reflue, come nel caso studiato).

Nel caso delle sorgenti areali passive, la stima dell'OER è un processo piuttosto complicato, poiché è difficile misurare una concentrazione rappresentativa di odore e, soprattutto, determinare una portata d'aria ben definita. È possibile adottare due diversi approcci (Hudson, 2008): misurazioni indirette, utilizzando metodi micrometeorologici, in cui i tassi di emissione derivano da misurazioni simultanee di velocità del vento e concentrazioni attraverso il profilo del pennacchio sottovento rispetto alla sorgente; o misurazioni dirette, utilizzando una sorta di chiusura (*hood methods*), per cui i tassi di emissione derivano dai dati riguardanti la concentrazione dei composti di interesse misurati nei campioni raccolti all'uscita del dispositivo di campionamento combinato con le dimensioni del dispositivo e le condizioni operative.

La stima dell'OER richiede il calcolo di un altro parametro significativo, cioè il tasso di emissione di odore specifico (SOER), espresso in unità di odore emesse per superficie e unità di tempo (ouE m⁻² s⁻¹), secondo la seguente equazione:

$$SOER = \frac{Q_{air} \cdot c_{od}}{A_{base}} \quad (5.1)$$

dove:

- SOER = Odore specifico Tasso di emissione (ouE m⁻² s⁻¹)
- Q_{air} = portata d'aria all'interno del cofano (m³ s⁻¹)
- c_{od} = concentrazione dell'odore misurata (ouE m⁻³)
- A_{base} = superficie di base della cappa (m²).

L'OER viene quindi calcolato moltiplicando SOER per la superficie emittente della fonte considerata:

$$OER = SOER \cdot A_{em} \quad (5.2)$$

dove:

- OER = Tasso di emissione degli odori (ouE s⁻¹)
- SOER = Odore specifico Tasso di emissione (ouE m⁻² s⁻¹)
- A_{em} = superficie emittente della fonte considerata (m²).

Applicando la teoria dello strato limite Prandtl (Thibodeaux, 1985) per la descrizione del fenomeno, è possibile dimostrare che sia il SOER che l'OER sono proporzionali alla radice quadrata della velocità dell'aria (velocità del vento) sopra la superficie monitorata (Sohn, 2008):

$$SOER, OER \propto v^{1/2} \quad (5.3)$$

Di conseguenza, i modelli di dispersione dovrebbero tener conto di questa dipendenza, ricalcolando l'OER per ogni ora del dominio di simulazione in base alla velocità effettiva del vento. Oltre all'OER relativo alla sorgente fonte, sono richiesti ulteriori dati come input del modello.

Innanzitutto, è necessario identificare con precisione la posizione geografica delle sorgenti nel dominio spaziale della simulazione. Inoltre, occorre individuare la geometria della sorgente, ad esempio altezza, diametro (o diametro equivalente se la sezione di uscita non è circolare), orientamento (verticale, inclinato o orizzontale). Infine, devono essere specificati anche i dati fisici dell'emissione, per esempio portata d'aria/velocità e temperatura.

6 LE EMISSIONI ODORIGENE NEGLI IMPIANTI DI TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE

Gli impianti di trattamento delle acque reflue sono note sorgenti di odori e composti organici volatili (VOC). Questi impianti sono spesso ubicati non lontano da aree abitate. In molti casi, l'impianto fu costruito prima, per poi venire progressivamente inglobato nello sviluppo edilizio. Per questo motivo, in alcuni casi si possono verificare situazioni critiche dal punto di vista degli impatti odorigeni.

L'analisi degli impatti odorigeni può essere complicata, a causa della natura della progettazione degli impianti di trattamento. Le varie fasi del processo prevedono infatti serbatoi molto estesi, a diretto contatto con l'esterno. Inoltre, gli odori vengono emessi da diversi punti dell'impianto, e l'effettivo impatto nelle vicinanze è molto difficile da misurare o addirittura stimare. In alcuni casi, le emissioni odorigene sono causa di qualche imperfezione nel funzionamento del processo, che non può essere prevista con adeguato anticipo.

Gli odori generati dagli impianti di trattamento dei reflui sono il risultato di una combinazione di diverse specie chimiche, rilasciate da diversi punti del processo. I composti odorigeni normalmente riscontrabili negli impianti di depurazione, le relative soglie di percettibilità e i livelli ammissibili di esposizione negli ambienti di lavoro sono riportati in Tabella 6.1.

Tabella 6.1 Analiti rilevati negli impianti di depurazione delle acque reflue (fonte: APAT (2003))

	Soglia di percettibilità ATC (mg/m ³)	TLV (mg/m ³)	ATC/TLV
Solforati			
Idrogeno solforato	0,00066	14 4,7	E -05
Metilmercaptano	0,0042	1	0,0042
Etilmercaptano	0,0025	1,25	0,002
Dimetilsolfuro	0,0025	-	-
Azotati			
Ammoniaca	33	18	1,8333
Metilammina	0,027	12	0,00225
Dimetilammina	0,085	18	0,004722
Trimetilammina	0,0005	24	2,8 E -05
Piridina	0,067	15	0,004467
Aldeidi			
Formaldeide	1,2	3	0,4
Acetaldeide	0,38	180	0,00211
Acroleina	0,49	0,25	1,96
Chetoni			
Acetone	240	2400	0,1
Metililchetone	29	590	0,04915
Acidi organici			
Acido acetico	2,5	25	0,1
Acido butirrico	0,004	-	-

I composti principali rilevabili sono, divisi per tipologia chimica:

- prodotti solforati. I composti solforati sono le sostanze più frequentemente rilevate, in presenza di condizioni anaerobiche nell'acqua. Il composto più diffuso è sicuramente l'idrogeno solforato (H_2S). Altri composti solforati, causa di emissioni odorose sono i mercaptani, rilevabili anche a concentrazioni molto basse. Le forme più diffuse sono i metil- ed etil-mercaptani. Un altro gruppo di composti spesso presenti negli impianti sono i solfuri organici (in particolare dimetilsolfuro, dietilsolfuro). La produzione di mercaptani e solfuri organici deriva dalla degradazione delle proteine, che porta alla formazione di amminoacidi solforati o dalla reazione dell'idrogeno solforato con alcuni chetoni insaturi.
- prodotti azotati. Il composto più comunemente riscontrabile è l'ammoniaca, gas incolore dal caratteristico odore estremamente pungente, particolarmente legato al problema del trattamento dei fanghi e al compostaggio. Alcuni composti azotati possono essere presenti originariamente nei liquami in quanto prodotti di escrezione dell'urina; altri si formano per decarbossilazione degli amminoacidi delle proteine, allorché il pH scenda sotto 6.
- altri prodotti. Un gran numero di prodotti organici maleodoranti formati nella fermentazione degli zuccheri o nella decomposizione dei grassi possono essere presenti in concentrazione più o meno grande nei liquami sotto forma di acidi grassi, aldeidi, chetoni, esteri e alcoli.

La causa della presenza di cattivi odori negli impianti di depurazione è rappresentata sia dallo scarico di sostanze maleodoranti nel sistema di collettamento, sia dalla formazione di sostanze maleodoranti lungo la fognatura dovuta all'innescio di processi anaerobici. La rete di adduzione degli effluenti può costituire un veicolo di composti osmogeni che si evidenziano particolarmente nei punti ove le condizioni di turbolenza facilitano il rilascio in atmosfera delle sostanze. La possibilità che insorgano condizioni di anaerobiosi in fognatura dipende dal tipo di rete, dal carico organico del liquame, dalla velocità di scorrimento, dalle caratteristiche geometriche della condotta (lunghezza e pendenza) e dalla temperatura dell'ambiente.

La anaerobiosi può essere anche una caratteristica del processo, generalmente le emissioni più rilevanti si verificano nei punti di raccolta e stoccaggio di materiali a forte carico organico (grigliatura pozzetti di estrazione fanghi), nelle fasi caratterizzate da tempi di permanenza prolungati (ispessitori di fanghi freschi, digestori) e nelle unità di processo nelle quali sono facilitati i fenomeni di volatilizzazione (disidratazione e trattamento dei fanghi).

In Tabella 6.2 vengono riportate le concentrazioni medie per le varie fasi del processo di trattamento delle acque reflue indicate dalle linee guida della Regione Lombardia.

Tabella 6.2 Concentrazioni medie (in unità odorigene) per le varie fasi del processo di trattamento delle acque reflue indicate dalle linee guida della Regione Lombardia

Fasi del processo	Valore medio di c_{od} [ou_E/m³]	Range di c_{od} [ou_E/m³]	OEF medio [ou_E/m³ refluo]
Arrivo reflui	2300	100 – 100000	11000
Pre-trattamenti	3800	200 – 100000	110000
Sedimentazione primaria	1500	200 – 20000	190000
Denitrificazione	230	50 – 1500	9200
Nitrificazione	130	50 – 200	7400
Ossidazione	200	50 – 1000	12000
Sedimentazione secondaria	120	50 – 500	13000
Trattamenti chimico- fisici	600	200 – 3000	8300
Ispessimento fanghi	1900	200 – 40000	43000
Stoccaggio fanghi	850	100 – 5000	8300

È possibile osservare come le fasi iniziali del processo di trattamento risultino quelle maggiormente responsabili dell'impatto odorigeno.

6.1 Alcuni studi di riferimento

6.1.1 Impianto di trattamento delle acque reflue di Torino

Nel 2001 l'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (APAT) ha intrapreso una campagna di misure sull'impianto di trattamento acque di Torino. I risultati di tale progetto, riportati in Tabella 6.3, assegnano la massima concentrazione di unità odorigene alla fase di trattamento dei fanghi. Anche le fasi di grigliatura, pretrattamento (flottazione e flocculazione) e sedimentazione primaria, pur in concentrazioni non paragonabili a quelle della linea trattamento fanghi, contribuiscono significativamente a provocare molestie olfattive, soprattutto in funzione delle notevoli dimensioni delle superfici emittenti.

Tabella 6.3 Risultati della campagna di misura effettuata nell'anno 2001 presso il depuratore delle acque reflue di Torino (Fonte: APAT (2003)).

Campione	Punto di emissione	Ora	T aria* °C	Um.* %	Concentrazione di odore O.U./m ³
1	ingresso scrubber 1	10.00	20,6	81,8	3.564
2	uscita scrubber	10.15	19,5	99,9	2.378
3	ingresso scrubber 2	10.30	29,6	52,7	4.621
4	uscita scrubber 2	10.50	22,8	99,9	3.175
5	vasca di pretratt. (dissabbiatura-disoleatura)	11.00 ²	35,5		3.364
6	sedimentatore primario	11.20-11.52 ¹	31,0		4.490
7	ossidatore biologico	12.00-12.32 ¹	34,3		1.260
8	sedimentatore secondario	12.45-13.17 ¹	33,5		891
9	vasca di filtrazione fanghi	14.00-14.32 ¹	38,6		1.456
10	fanghi in stoccaggio	14.45-15.17 ¹	32,1		4.362
11	preispessimento fanghi	15.40			55.394
12	postispessimento fanghi	15.50			39.170
13	filtro pressa	16.00			5.496

Note:
¹ campionamento effettuato con cappa dinamica.
² campionamento effettuato con cappa dinamica senza portata di aria neutra.

6.1.2 Altri studi

In uno studio pubblicato da Lehtinen (2011) sulla determinazione degli odori in un impianto di trattamento acque in Finlandia, sono stati misurati sia i singoli componenti odorigeni (VOCs, ammoniaca, H₂S) sia la concentrazione totale di odori.

I VOC sono stati analizzati in laboratorio mediante un gas cromatografo/spettrometro di massa con desorbimento termico. L'H₂S è stato misurato con un analizzatore gas a infrarossi che possiede una cella elettrochimica esterna per l'analisi dell'H₂S. L'ammoniaca, invece, è stata determinata usando tubi rilevatori (detection tubes) o a diffusione (diffusion tubes). Mediante un gas cromatografo portatile, infine, si sono misurati i composti solforati ridotti come H₂S, metilmercaptano (MeSH), dimetil-solfuro (DMS) e dimetil-disolfuro (DMDS).

I risultati delle analisi sono riportati in Tabella 6.4. L'origine dei composti solforati organici e delle aldeidi è molto probabilmente da ricercare nella degradazione anaerobica della materia organica; alpha-pinene e limonene potrebbero, invece, derivare da scarichi residenziali, essendo questi comuni agenti odoranti nei cosmetici e nei detersivi.

Tabella 6.4 Concentrazione dei composti (medie e range in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate da Lehtinen et al. (2011)

Compound	Primary clarifier	Sludge thickening	Sludge dewatering	Odour threshold concentration, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
DMS	0.9 (bdl-2.9)	56.3 (51.6-69.0)	26.4 (3.9-103.8)	0.3
allyl methylsulfide	nd	8.2 (bdl-22.7)	nd	–
DMDS	1.6 (bdl-3.6)	83.9 (34.5-162.0)	22.5 (5.0-32.5)	0.1
DMTS	nd	2.7 (bdl-10.8)	1.9 (bdl-9.6)	–
hexanal	7.6 (3.9-15.9)	4.9 (bdl-8.6)	1.5 (bdl-4.4)	28
heptanal	3.2 (bdl-6.5)	6.7 (bdl-15.3)	1.5 (bdl-7.4)	6.0
octanal	16.5 (bdl-43.5)	16.1 (bdl-37.6)	nd	–
toluene	10.2 (5.7-16.7)	154.5 (11.7-450.6)	6.9 (17.9-219.4)	80
alfa-pinene	2.5 (0.8-4.7)	39.4 (3.6-109.3)	13.8 (1.0-13.7)	16
3-carene	nd	nd	28.44 (3.3-61.4)	–
limonene	4.0 (2.9-5.4)	41.2 (17.6-95.5)	59.8 (13.1-128.5)	10
diethyl ether	30.5 (bdl-110.8)	272.9 (66.4-536.6)	14.0 (0.6-19.4)	900-28 000
OU/m ³	157 (57-380)*	4330 (1100-7100)	3530 (1500-7600)	

NOTA: bdl=below detection limit

Uno studio di Dincer e Muezzinoglu (2008) ha previsto la raccolta di campioni di gas provenienti da varie unità di trattamento di liquidi e solidi di un impianto urbano comunale in Turchia per determinare la composizione chimica degli odori associati. Nel complesso, 29 odoranti sono stati quantificati dalle seguenti classi chimiche: composti di zolfo ridotto (RSC), aldeidi, monoaromatici (benzene, toluene e xileni) e composti organici alogenati. È stata trovata una relazione lineare statisticamente significativa tra le concentrazioni di odori determinate da olfattometria e concentrazioni totali di VOC.

Sekyiamah et al. (2008) hanno quantificato le emissioni volatili di composti a base di zolfo (VSC) dal sistema di trattamento dei fanghi attivi di una grande centrale di trattamento con campionamento manuale e tramite camera di flusso, analisi di gascromatografia/spettrometria di massa (GC/MS) e analisi olfattometrica.

Infine, McGinley e McGinley (2008) hanno raccolto dati di soglia di rilevazione di odore da oltre 1000 campioni di acque reflue analizzate da un laboratorio commerciale. Un'analisi statistica dei dati ha fornito la media geometrica ed il 75° percentile di soglia di odori per impianti comuni di acque reflue, compresi i sistemi di raccolta, il trattamento preliminare, il trattamento primario, il trattamento biologico, l'ispessimento dei fanghi, la digestione, la disidratazione, la manipolazione dei biosolidi e il controllo dell'odore. Lo studio ha inoltre riportato una correlazione ($r = 0,60$) tra la concentrazione di H_2S e la soglia di rilevazione dell'odore basata su 3584 campioni di odore.

6.2 Misurazione di concentrazione dei singoli componenti odorigeni

I principali requisiti di uno strumento/tecnica di misura di concentrazione devono essere:

- selettività, cioè la risposta specifica dello strumento/tecnica di misura alla presenza di un particolare componente senza interferenza sullo strumento/tecnica di misura esercitate da altri componenti.
- sensibilità, ovvero la minima soglia che può essere rilevata dallo strumento/tecnica di misura al variare della concentrazione di un componente.
- stabilità, cioè la costanza a lungo termine del valore ottenuto dallo strumento/tecnica di misura in condizioni stazionarie di composizione della miscela gassosa sottoposta ad analisi.

Gli strumenti di misura della concentrazione di tipo continuo o semicontinuo sono in grado di fornire misure della concentrazione gassosa con tempi di risposta che variano da decimi di secondo a centinaia di secondi in funzione del principio di funzionamento adoperato.

Il campione prelevato dal circuito di campionamento viene inviato in modo continuo/discontinuo allo strumento che fornisce la misura con il proprio tempo di risposta caratteristico. All'interno dello strumento di misura è solitamente inserita almeno una cella contenente la miscela gassosa da analizzare ed un rilevatore della specie chimica basato su molteplici principi di funzionamento.

Il rilevatore è in grado di determinare un effetto misurabile di natura meccanica, elettrica, ottica, chimica o altra correlato alla presenza di una specie gassosa nella cella ad una determinata concentrazione.

I diversi principi di funzionamento dei rilevatori possono essere:

- Proprietà paramagnetica
- Conducibilità termica
- Ionizzazione di fiamma
- Assorbimento di radiazione infrarossa
- Assorbimento di radiazione ultravioletta
- Fenomeni elettrochimici
- Fenomeni fotochimici.

7 METODOLOGIA

Per lo sviluppo della rete di monitoraggio, si è scelto di seguire un approccio di tipo analitico, prevedendo cioè la misura della concentrazione delle singole specie chimiche (o le famiglie di esse) che sono ritenute responsabili delle emissioni odorigene.

Secondo quanto già riportato nei capitoli precedenti, il metodo dell'analisi chimica si contrappone ai metodi sensoriali (olfattometria dinamica e derivati); questi ultimi prevedono la caratterizzazione degli odori mediante la definizione delle "unità odorigene" complessive, a seguito di campionamento sul luogo e analisi in laboratori esterni da parte di personale qualificato. Tuttavia, diversamente dai metodi chimici, quelli sensoriali non forniscono un grado di ripetibilità sufficiente per soddisfare gli obiettivi del presente studio, non garantiscono una piena oggettività dei risultati e non permettono l'esecuzione di misure in continuo. Inoltre, i metodi chimici permettono la caratterizzazione precisa dei singoli componenti della miscela odorosa.

La principale critica che viene attualmente mossa al metodo analitico riguarda la valutazione efficace dell'effetto olfattivo, per cui non sempre la concentrazione di un componente risulta essere correlata alla percezione delle molestie olfattive. Lo studio bibliografico condotto, riassunto nelle considerazioni riportate ai paragrafi precedenti nonché di seguito, permette di:

1. Individuare con precisione gli indicatori chimici responsabili delle emissioni odorigene negli impianti di trattamento acque reflue come quello in studio;
2. Stabilire l'esistenza di una correlazione tra la misura di concentrazione di questi analiti e gli impatti odorigeni.

Sulla base dello studio bibliografico e di un sopralluogo tenutosi sull'area in studio, sono state individuate tre specie chimiche principalmente responsabili delle emissioni odorigene: idrogeno solforato (H_2S), ammoniaca (NH_3) e composti organici volatili (VOC) (Lewkowska, 2016).

L'idrogeno solforato (H_2S) è il più diffuso tra le sostanze solforate, che sono a loro volta i composti più frequentemente rilevati in presenza di condizioni anaerobiche nell'acqua.

Il composto azotato più comunemente riscontrabile è l'ammoniaca, gas incolore dal caratteristico odore estremamente pungente, particolarmente legato al problema del trattamento dei fanghi e al compostaggio.

I composti organici volatili (VOC) comprendono tutti i composti odorigeni generati dalla degradazione della sostanza organica contenuta nelle acque reflue; gli studi effettuati confrontando la concentrazione di VOC e le emissioni odorose totali hanno dimostrato l'esistenza di una correlazione tra le due grandezze.

Questi tre componenti, secondo le informazioni raccolte, possono essere con buona approssimazione considerati come indicatori delle emissioni odorigene complessive dell'impianto. È stato, quindi, previsto un sistema di monitoraggio sulla base di una caratterizzazione di tipo chimico, considerando le tre seguenti specie chimiche: idrogeno solforato (H_2S), ammoniaca (NH_3) e composti organici volatili (VOC).

7.1 Fasi dello studio

Una volta definiti il metodo di lavoro e le specie chimiche interessate, lo sviluppo del sistema di monitoraggio ha necessitato di una fase di caratterizzazione iniziale, composta da due step operativi:

- Fase 1, le cui finalità sono l'identificazione delle aree a maggiore impatto odorigeno e una caratterizzazione più approfondita delle specie chimiche emesse dai vari componenti dell'impianto. Contestualmente, in questa fase, è stata installata una centralina per la misura dei parametri meteorologici, al fine di monitorare le variabili esterne che influenzano la dispersione degli odori.
- Fase 2, con l'obiettivo dell'installazione di un sistema in continuo di misura delle concentrazioni, per valutare la distribuzione delle concentrazioni di specie odorigene in funzione del tempo e della distanza dalle aree sorgenti, comparando questi valori con le rilevazioni ottenute dalla centralina meteo.

Il presente elaborato di tesi è stato svolto durante la Fase 1, che verrà di seguito analizzata.

La prima fase dello studio preliminare ha avuto come oggetto l'identificazione delle aree a maggiore impatto odorigeno e una caratterizzazione più approfondita delle specie chimiche emesse dai vari componenti dell'impianto. Tale elaborazione ha previsto l'esecuzione di quattro operazioni:

1. Una campagna di misure in campo della concentrazione di H_2S^1 , NH_3 e VOC, utilizzando strumenti manuali portatili;
2. La raccolta di alcuni campioni di aria e successiva speciazione chimica in laboratorio tramite analisi GC/MS o equivalente, al fine di caratterizzare in maniera più approfondita le specie chimiche contenute nella miscela odorigena¹;
3. L'installazione di una centralina per la misura dei parametri meteorologici;
4. La definizione delle specifiche tecniche per l'installazione dei sistemi di misurazione in continuo di concentrazione.

Di seguito viene descritto l'approccio metodologico seguito per ciascuna operazione.

¹ Misurazioni ed analisi (di H_2S e speciazione VOC) sono state effettuate ad opera di una ditta esterna

7.1.1.1 Esecuzione delle misure in campo

Al fine di stimare le sezioni dell'impianto caratterizzate da un'elevata emissione di sostanze odorigene, è stata condotta un'approfondita indagine attraverso specifici sopralluoghi. Sono state effettuate delle misurazioni puntuali delle concentrazioni di NH_3 e di VOC presso l'impianto di depurazione delle acque reflue SMAT di Castiglione Torinese nei giorni 23/10, 25/10 e 27/10.

Per ottenere un primo valore indicativo della concentrazione di emissione della discarica, sono stati utilizzati i seguenti strumenti:

- misuratore portatile ION Science, modello TIGER per i VOC;
- misuratore portatile GEASS Gas Alert Extreme per NH_3 .



Figura 7.1 Misuratore portatile ION Science, modello TIGER (a sinistra) e GEASS Gas Alert Extreme (a destra)

Alcune misurazioni preliminari effettuate sul sito nell'ottobre 2016 (vedasi Tabella 7.1) hanno individuato le aree dell'impianto maggiormente responsabili delle emissioni odorose, che sono risultate le seguenti:

- grigliatura/desabbiatura, che corrisponde all'ingresso dei liquami;
- sedimentazione primaria, che coincide con uno stato primordiale del trattamento in cui ci sono vasche a cielo aperto contenenti i liquami freschi;
- area di disidratazione ed essiccamento fanghi (nonostante il processo avvenga in forma chiusa);
- piazzale esterno di stoccaggio dei fanghi, in cui è autorizzato lo stoccaggio 70000 tonnellate di fanghi (anche se solitamente si raggiungono al massimo 3000 t). Si tratta di un'area delicata in quanto situata nei pressi della statale SS11, importante punto di traffico.

Tabella 7.1. Valori di concentrazione di VOC misurati durante il sopralluogo preliminare tenutosi in data 7/10/2016.

Zona dell'impianto	Concentrazione media misurata di VOC (ppm)
Grigliatura / desabbiatura	5,5
Sedimentazione primaria	1,2
Piazzale esterno di stoccaggio dei fanghi *	0,2
Area disidratazione ed essiccamento fanghi	0,3

*Al momento della misura c'era poco materiale stoccato sul piazzale

7.1.1.2 Screening delle specie chimiche

Oltre all'esecuzione delle misure di concentrazione in campo, il lavoro ha previsto la raccolta di una serie di campioni di aria (uno per ogni area a maggiore impatto odorigeno individuata) e l'analisi dei VOC tramite gas-cromatografia e spettrometria di massa (GC/MS) o tecnica equivalente, al fine di individuare eventuali famiglie chimiche maggiormente responsabili degli impatti. La raccolta dei campioni e la successiva analisi chimica sono state affidate ad un laboratorio esterno.

7.1.1.3 Installazione della centralina meteo

La stazione meteorologica è stata installata sul sito, nella posizione indicata al punto 1 di Figura 7.2. L'ubicazione del sistema di misura è stata scelta in seguito ad un sopralluogo presso l'impianto. Il punto indicato è risultato essere il più idoneo, in quanto sufficientemente lontano dalle interferenze fluidodinamiche di altre componenti dell'impianto e non ubicato su asfalto. Per questo tipo di sistemi, infatti, viene raccomandata una distanza pari ad almeno 10 volte l'ingombro orizzontale degli ostacoli presenti nell'intorno.

I parametri meteorologici misurati sono i seguenti:

- radiazione globale [W/m^2],
- temperatura dell'aria [$^{\circ}C$],
- umidità relativa dell'aria [%],
- precipitazione, pioggia e neve fusa [mm],
- pressione atmosferica [hPa],
- direzione del vento [$^{\circ}$],
- velocità del vento [m/s].

La stazione è installata al suolo, con sensori montati su traliccio abbattibile con carrello ascensionale da 9 + 1 metri controventato. Un anemometro ultrasonico bi-assiale è presente sulla sommità del traliccio, assieme all'antenna del sistema wireless LAN per il collegamento alla rete aziendale SMAT e la trasmissione dei dati dell'intero set di sensori.

Su un palo a parte, installato sul plinto di uno dei tiranti, sono presenti:

- un radiometro globale di classe 2 montato su sbraccio orientato a sud;
- un sensore di temperatura PT100 1/3 DIN in schermo antiradiazione non ventilato (pagodina a ventilazione passiva);
- un igrometro in schermo antiradiazione non ventilato (pagodina a ventilazione passiva);
- un pluviometro a vaschetta basculante;
- un box stagno IP65 con il sistema di acquisizione/elaborazione dati;
- un barometro.

Tutti i sensori sono acquisiti tramite un datalogger Campbell CR800. Il sistema di acquisizione dati genera le medie delle grandezze fisiche su base oraria di 10 minuti, modificabile a richiesta. L'accesso alla rete LAN avviene tramite un ponte wireless LAN tra il traliccio della stazione e il punto cablato della rete LAN aziendale indicato al punto 2 di Figura 7.2.



Figura 7.2 Ubicazione della centralina di misura



Figura 7.3 Stazione di misura dei parametri meteorologici.

7.1.1.4 Specifiche tecniche per l'installazione dei sistemi di misurazione in continuo di concentrazione

Il sistema di misurazione in continuo delle concentrazioni dovrà essere composto dalle seguenti componenti:

- Sensore per la misura della concentrazione di H₂S/CH₄ (range 0-1000 ppb);
- Sensore per la misura della concentrazione di NH₃ (0-25 ppm);
- Sensore per la misura della concentrazione di VOC (0-16 ppm);
- Sistema di memorizzazione ed esportazione dei dati.

7.2 Misure di screening

Le misure di screening in campo di VOC e NH₃ sono state effettuate tramite tre campagne di misura, condotte nei mesi di ottobre e novembre 2017 e maggio 2018.

Nei paragrafi seguenti viene descritta in modo più dettagliato ciascuna campagna di misura.

7.2.1 Campagna di misura del 23-27/10/2017

La prima serie di misurazioni è stata effettuata i giorni 23, 25 e 27 ottobre 2017, tra le 10:00 e le 12:00. Le concentrazioni sono state rilevate sull'intero impianto, in modo da individuare le differenze tra le diverse fasi del processo e i diversi moduli in parallelo.

7.2.2 Campagna di misura del 20-24/11/2017

Identificate le zone con maggiore concentrazione di odori, si è effettuata una seconda campagna di misura limitata a tali aree, per monitorare le concentrazioni di NH₃ e VOC nell'arco di un'intera settimana lavorativa, dal 20 al 24 novembre 2017.

Durante tre dei cinque giorni le concentrazioni sono state misurate sia al mattino (tra le 10:00 e le 12:00) che al pomeriggio (tra le 15:00 e le 17:00). Si è scelto di coprire più giorni consecutivi e diverse ore del giorno al fine di individuare eventuali variazioni temporanee delle emissioni dovute alle seguenti possibili cause:

- variazioni delle emissioni dovute a variazioni nel processo di trattamento (es: variazione qualitativa dei reflui trattati) o ad operazioni saltuarie effettuate sull'impianto (es: operazioni di movimentazione dei fanghi);
- variazioni delle condizioni meteorologiche, con conseguente variazione della dispersione delle emissioni odorigene.

Per ciascun punto di misura sono stati rilevati due valori di concentrazione: uno il più vicino possibile alla sorgente di emissione, e uno nelle immediate vicinanze, ovvero a circa 5 metri dal limite più prossimo della sorgente (es: da bordo vasca).

7.2.3 Campagna di misura del 10-16/05/2018

A maggio 2018 è stata effettuata un'ulteriore campagna di misura al fine di determinare la concentrazione di VOC in corrispondenza del perimetro dell'impianto, in modo da ottenere il profilo del pennacchio sottovento rispetto alla sorgente nella successiva fase di modellizzazione. La campagna di misura è stata realizzata il giorno 10/05/2018 dalle 10:20 alle 12:40, il 15/05/2018 dalle 11:20 alle 14:10 e infine il 16/05/2018 dalle 12:20 alle 13:40 e dalle 14:00 alle 16:40. In questo caso, sono state effettuate delle misurazioni in continuo per circa 10 minuti in ciascun punto. In questo modo, è stato possibile effettuare un confronto più preciso con i dati meteorologici.

I punti di misura sono riportati su mappa in Figura 7.4.

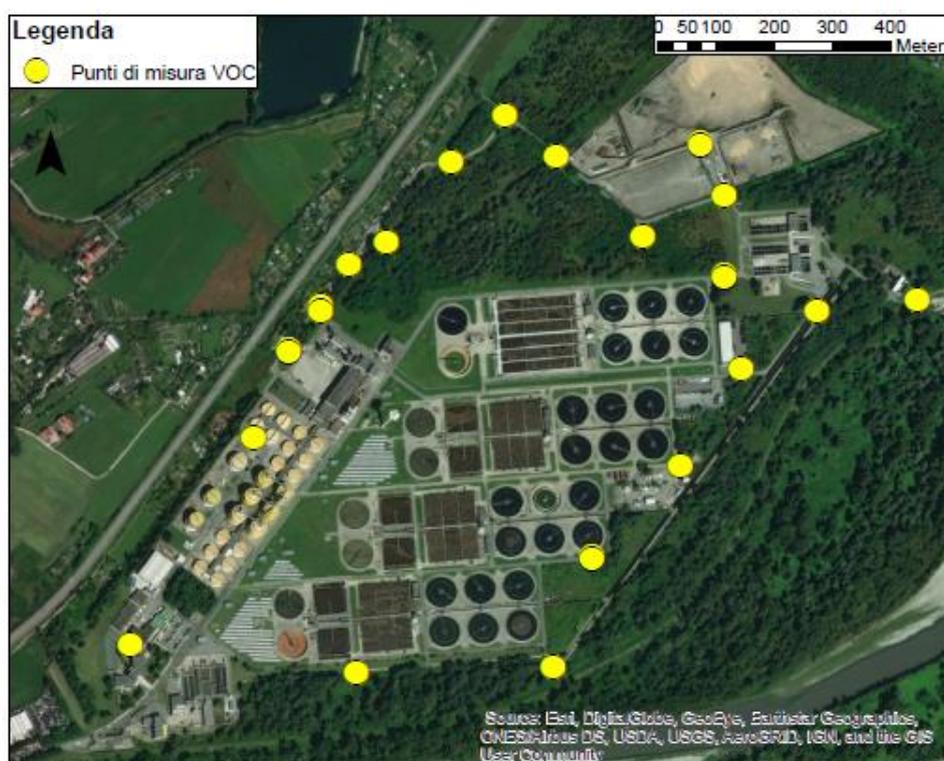


Figura 7.4 Punti di misura lungo il perimetro dell'impianto SMAT di Castiglione

7.3 Correlazioni con i dati meteorologici

7.3.1 Variabili meteorologiche

Per valutare l'impatto odorigeno dell'impianto, una volta ottenuti i valori di concentrazione delle sostanze odorigene misurate al suolo in corrispondenza delle sorgenti, è fondamentale ricercare eventuali correlazioni con i dati meteorologici, in modo da poter ipotizzare la dispersione in atmosfera delle sostanze odorigene.

I valori rilevati della centralina dell'impianto durante il periodo della campagna di novembre e di maggio sono stati analizzati e confrontati con le concentrazioni di VOC e NH₃ misurate. In particolare, si è scelto di utilizzare come variabili meteorologiche di riferimento la temperatura media, la velocità scalare del vento media e la radiazione solare globale dall'alto media.

Per quanto riguarda la campagna di novembre, tra le diverse misurazioni effettuate si è scelto di utilizzare solamente i dati relativi alle sorgenti diffuse areali (vasche e piazzale), in quanto ritenute maggiormente correlabili con i fattori meteorologici. Si sono dunque esclusi i dati provenienti da misurazioni a ridosso di sorgenti puntuali all'interno della linea fanghi.

7.3.2 Modello micrometeorologico

Uno dei parametri di input meteorologici più importanti nei modelli di inquinamento atmosferico è lo strato limite atmosferico o altezza di rimescolamento, in cui la superficie terrestre interagisce con la grande scala del flusso atmosferico. È difficile stabilire con esattezza l'altezza del PBL perché è molto variabile: oltre a presentare un ciclo diurno, essa risulta fortemente dipendente dalle condizioni meteorologiche e orografiche del sito. Gli inquinanti sono mescolati uniformemente all'interno di questo strato dalla turbolenza, che può essere di tipo convettivo o meccanico. La convezione si verifica durante il giorno, quando l'aria viene riscaldata dal basso dalla superficie calda della terra. La turbolenza meccanica è prodotta, invece, dal vento che soffia sulla superficie terrestre.

Mentre al di sopra del mare aperto l'altezza del PBL varia lentamente nello spazio e nel tempo, sulla terra ferma ha una variabilità maggiore. Si possono, infatti, individuare, tre forme principali che si alternano nel corso delle 24 ore (Garratt, 1992):

- Mixed Layer (o Convective Boundary Layer), lo strato di mescolamento caratteristico di condizioni di instabilità atmosferica. Si forma subito dopo l'alba e la sua altezza cresce con l'aumento di calore assorbito dal suolo, fino ad arrivare ad un picco nel pomeriggio. Queste condizioni favoriscono la dispersione delle sostanze odorigene, riducendone le concentrazioni al suolo;
- Residual Layer, lo strato residuo che si forma circa 30 minuti prima del tramonto e rappresenta lo stato di transizione tra condizioni instabili (giornaliere) e stabili (notturne);
- Stable Boundary Layer, caratterizzato da turbolenza scarsa o assente, si forma durante la notte. In assenza di vento, la stabilità atmosferica facilita il ristagno delle sostanze odorigene nelle immediate vicinanze della sorgente. In presenza di vento, invece, gli inquinanti si disperdono lungo la sua direzione prevalente, arrivando a percorrere distanze elevate prima di ricadere al suolo.

Esistono due approcci differenti per determinare l'altezza dello strato limite atmosferico: uno pratico e uno modellistico. Il primo consiste nella misurazione del profilo di temperatura e velocità del vento a diverse altitudini nell'area interessata, attraverso radiosonde, Sodar, LIDAR. L'approccio alternativo prevede la realizzazione di modelli a partire da alcuni parametri come la temperatura, la radiazione solare, la velocità del vento la copertura nuvolosa e l'ora del giorno. L'altezza dello strato limite viene modellato usando la teoria della similarità di Monin-Obukhov. Il flusso è assunto omogeneo nel piano orizzontale, quindi si presume che tutti i parametri dinamici del flusso dipendano solo dalla coordinata verticale z .

Il modello proposto per determinare l'altezza dello strato limite presentato nei paragrafi seguenti è ispirato agli studi di Holtslag e Van Ulden (1983), Fisher et al. (1998) e delle parametrizzazioni adottate dal modello ADMS (CERC, 2001).

Secondo la teoria della similarità di Monin-Obukhov, la velocità media all'interno dello strato limite atmosferico può essere rappresentata dalla seguente relazione (Garratt, 1992):

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z - x + z_0}{z_0} \right) - \left(\psi_m \left(\frac{z - x + z_0}{L_{MO}} \right) - \psi_m \left(\frac{z_0}{L_{MO}} \right) \right) \right] \quad (7.1)$$

dove la funzione z_0 è la rugosità aerodinamica e L_{MO} è la lunghezza di Monin-Obukhov, definita come:

$$L_{MO} = \frac{-\rho \cdot c_p \cdot T \cdot u_*^3}{k \cdot g \cdot Q_h} \quad (7.2)$$

essendo Q_h il flusso di calore sensibile tra il terreno e l'atmosfera.

La funzione ψ_m è definita come (Businger, et al., 1971):

$$\psi_m(\zeta) = \begin{cases} 2 \ln \left(\frac{1+x}{2} \right) + \ln \left(\frac{1+x^2}{2} \right) - 2 \tan^{-1}(x) + \frac{\pi}{2}, & L_{MO} < 0 \text{ (condizione instabile)} \\ 0, & L_{MO} = 0 \text{ (condizione neutra)} \\ -5\zeta, & L_{MO} > 0 \text{ (condizione stabile)} \end{cases} \quad (7.3)$$

dove $x = (1 - 16\zeta)^{\frac{1}{4}}$.

Il profilo verticale della temperatura potenziale è rappresentato dall'equazione:

$$\theta(z) = \theta_0 + \frac{\theta_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z + z_T}{z_T} \right) - \left(\psi_h \left(\frac{z + z_T}{L_{MO}} \right) - \left(\frac{z_T}{L_{MO}} \right) \right) \right] \quad (7.4)$$

dove θ_0 è la temperatura potenziale a terra e z_T la rugosità termica, definita come:

$$z_T = z_0 \cdot \exp[-k(6,2 \cdot Re_s^{1/4} - 5)] \quad (7.5)$$

essendo $Re_s = \frac{u_* \cdot z_0}{\nu_a}$

La funzione ψ_h è definita come:

$$\psi_h(\zeta) = \begin{cases} 2 \ln \left[\frac{1+x}{2} \right], & L_{MO} < 0 \text{ (condizione instabile)} \\ 0, & L_{MO} = 0 \text{ (condizione neutra)} \\ -5\zeta, & L_{MO} > 0 \text{ (condizione stabile)} \end{cases} \quad (7.6)$$

L'intensità delle fluttuazioni turbolente all'interno dello strato limite atmosferico può essere caratterizzata da profili verticali della deviazione standard delle tre componenti della velocità del vento σ_u , σ_v e σ_w , ottenute attraverso le seguenti relazioni (CERC, 2001):

$$\sigma_v = \begin{cases} \sqrt{0,3w_*^2 + \left[2u_* \left(1 - 0,8 \frac{z}{h} \right) \right]^2}, & c. \text{ instabile} \\ 2u_* \left(1 - 0,8 \frac{z}{h} \right), & c. \text{ neutra} \\ 2u_* \left(1 - 0,5 \frac{z}{h} \right)^{3/4}, & c. \text{ stabile} \end{cases} \quad (7.7)$$

$$\sigma_w = \begin{cases} \sqrt{\sigma_{wc}^2 + \sigma_{wN}^2}, & c. \text{ instabile} \\ 1,3u_* \left(1 - 0,8 \frac{z}{h} \right), & c. \text{ neutra} \\ 1,3u_* \left(1 - 0,5 \frac{z}{h} \right)^{3/4}, & c. \text{ stabile} \end{cases} \quad (7.8)$$

dove h è l'altezza dello strato limite, mentre i termini σ_{wc} e σ_{wN} sono pari a:

$$\sigma_{wc} = \sqrt{0,4}w_* 2,1 \left(\frac{z}{h} \right)^{1/3} \left(1 - 0,8 \frac{z}{h} \right) \quad (7.9)$$

$$\sigma_{wN} = 1,3u_* \left(1 - 0,8 \frac{z}{h} \right) \quad (7.10)$$

essendo w_* la velocità convettiva, definita come:

$$w_* = u_* \left(\frac{h}{k \cdot L_{MO}} \right)^{1/3} \quad (7.11)$$

L'altezza h dello strato limite atmosferico è correlata alle condizioni di stabilità atmosferica. In un'atmosfera stabile o neutra, h può essere considerato indipendente dal tempo e può quindi essere calcolato in funzione della condizione meteorologica in un dato momento. In condizioni instabili, invece, varia nel tempo a causa di un forzante termico indotto dai flussi termici dal terreno (Batchvarova & Gryning, 1991). La profondità dello strato limite in condizioni instabili dipende quindi non solo dalle condizioni in un dato momento ma anche dalle condizioni precedenti.

Le relazioni adottate per modellare le profondità degli strati limite in diverse condizioni di stabilità sono:

$$\left\{ \begin{array}{l} h = \frac{L_{MO}}{3,8} \left(-1 + \sqrt{1 + 2,28 \frac{u_*}{f \cdot L_{MO}}} \right), \quad c. \text{ stabile} \\ h = 0,3 \frac{u_*}{f}, \quad c. \text{ neutra} \\ \frac{dh}{dt} = \frac{1,4w_*^3 + 5u_*^3}{\frac{g}{T_0} \cdot \gamma_\theta^{ext} \cdot h^2}, \quad c. \text{ instabile} \end{array} \right. \quad (7.12)$$

dove T_0 è la temperatura a terra, γ_θ^{ext} è il gradiente verticale di temperatura potenziale, definito come:

$$\gamma_\theta^{ext} = \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (7.13)$$

8 RISULTATI

8.1 Misure di screening

8.1.1 Campagna di misura del 23-27/10/2017

Le concentrazioni misurate sono riportate in forma di mappa da Figura 8.2 a Figura 8.5. I dati puntuali completi sono riportati in Allegato II. I parametri meteorologici misurati dalla centralina durante il periodo di misura sono riportati in Allegato III, rappresentati come valori medi su 10 minuti e valori medi sul periodo considerato.

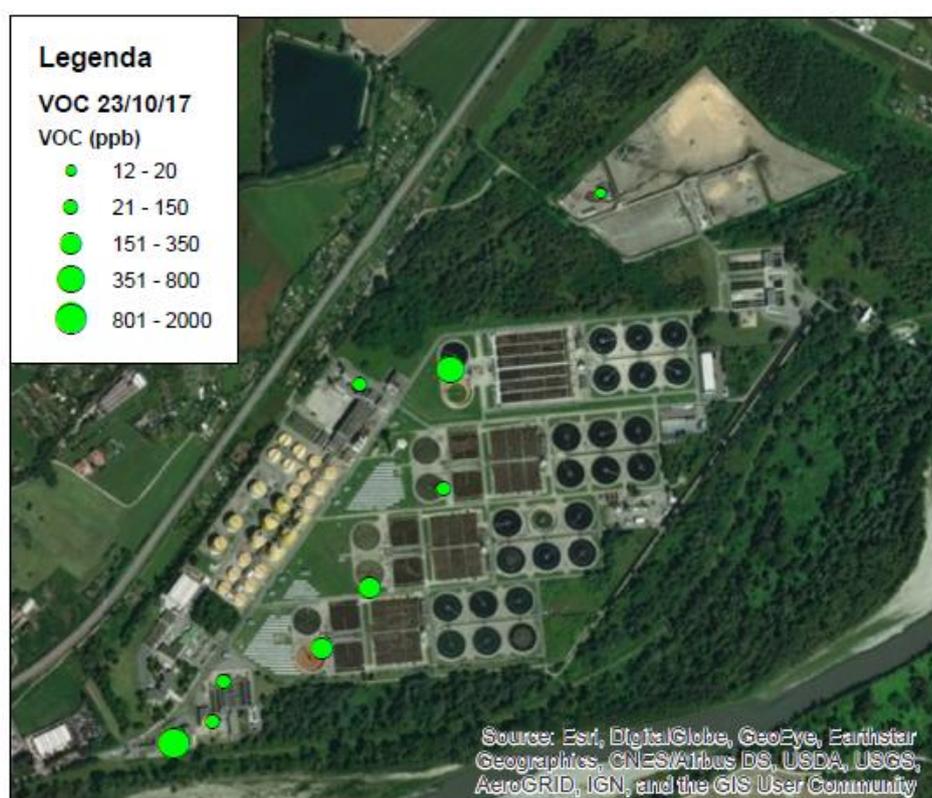


Figura 8.1 Concentrazioni di VOC misurate il giorno 23/10/17



Figura 8.2 Concentrazioni di NH₃ misurate il giorno 23/10/17

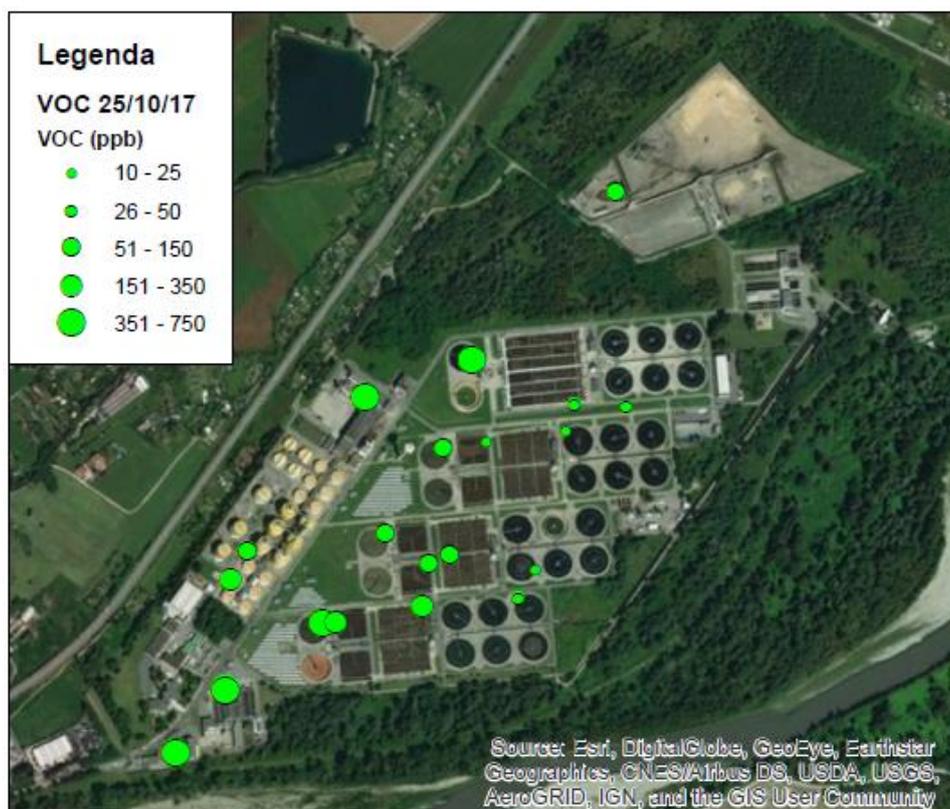


Figura 8.3 Concentrazioni di VOC misurata il giorno 25/10/17. Le concentrazioni di NH₃ non sono riportate su mappa poiché sono risultate nulle in ciascun punto di misurazione.

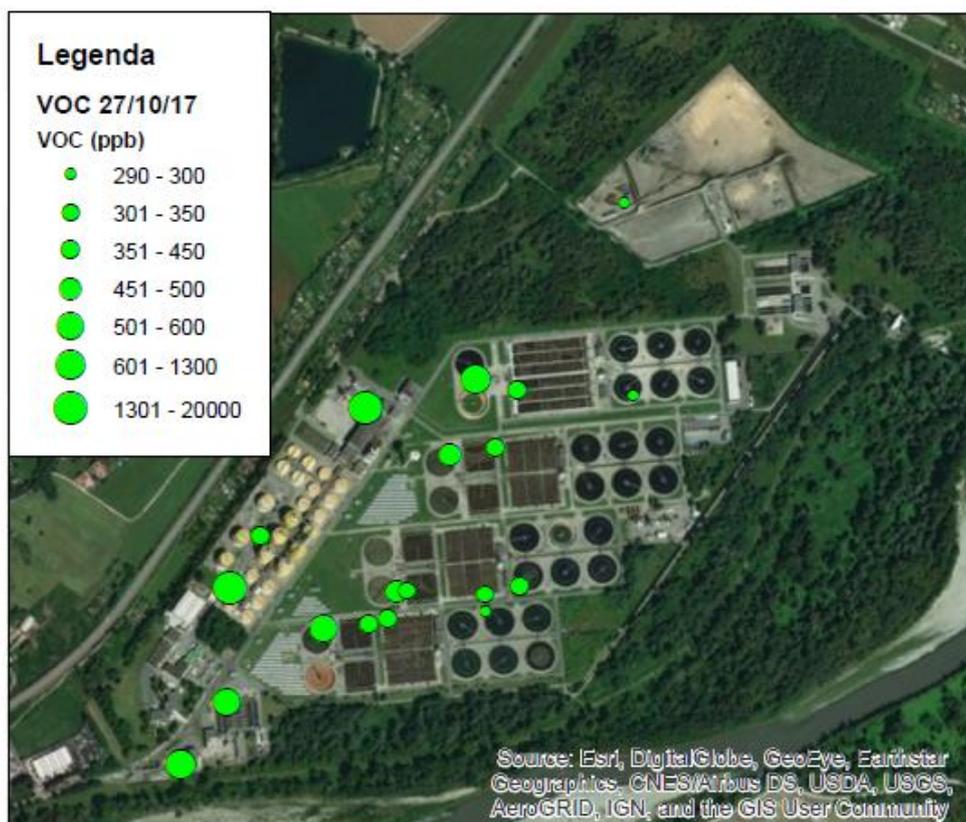


Figura 8.4 Concentrazioni di VOC misurate il giorno 27/10/17



Figura 8.5 Concentrazioni di NH₃ misurate il giorno 27/10/17

Le condizioni meteorologiche durante la prima campagna di misura sono risultate di cielo sereno, con temperatura media compresa tra circa 13°C e 20°C, pressione atmosferica compresa tra 992 e 1003 mbar e umidità relativa media compresa tra circa 20% e 65%. Il vento è stato quasi assente e di direzione principale SW durante i giorni 23 e 27, e NE durante il giorno 25. Nonostante la leggera variabilità di direzione del vento, temperatura e pressione, le condizioni meteo possono essere considerate uniformi durante i tre giorni.

Le misure di concentrazione di VOC si presentano anch'esse uniformi durante i tre giorni. Come previsto, i valori sono più alti nei pressi delle fasi di trattamento preliminare dei reflui (grigliatura in particolare), sedimentazione primaria e trattamento fanghi. A valle dei moduli di trattamento primario (vasche di denitrificazione e sedimentazione secondaria), le concentrazioni scendono notevolmente. Anche nel piazzale di stoccaggio dei fanghi i valori risultano poco significativi. Per quanto riguarda le differenze tra i diversi moduli dell'impianto che lavorano in parallelo, le misure evidenziano una concentrazione più alta presso il modulo 4, probabilmente a causa del fatto che questo modulo riceve il centrato proveniente dal processo di disidratazione dei fanghi.

Le misurazioni di NH₃ rivelano sempre una concentrazione sotto la soglia di percettibilità dello strumento (0.1 ppm) ad eccezione dei seguenti casi, che superano il valore di *Odor Threshold* relativo a NH₃ pari a 0.2 ppm (Regione Lombardia, 2010):

- Concentrazioni comprese tra 1 e 5 ppm rilevate in due episodi presso la grigliatura (giorno 23/10) ed il sedimentatore secondario (giorno 27/10);
- Una concentrazione di circa 30 ppm misurata presso il pozzetto di raccolta del chiarificato proveniente dal processo di post-ispessimento dei fanghi digeriti.

Quest'ultimo punto è stato individuato durante il sopralluogo del giorno 27/10, ed è caratterizzato da concentrazioni in prossimità della sorgente (sia di VOC che di NH₃) più alte rispetto alle altre zone dell'impianto, tali da superare il TLV (*Threshold Limit Value*) dell'NH₃, pari a 25 ppm (APAT, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, 2003). La concentrazione non trascurabile di ammoniaca è dovuta principalmente alla formazione di questo composto durante il processo di digestione anaerobica dei fanghi.

In ragione dei risultati ottenuti dalle campagne di misura effettuate si individuano le seguenti aree a maggiore impatto odorigeno:

- Grigliatura;
- Dissabbiatura;
- Sedimentazione primaria (Modulo 4);
- Essiccazione fanghi (condotto esterno di convogliamento della fase liquida estratta dai fanghi);

- Post-ispessimento fanghi (pozzetto di raccolta del liquido chiarificato estratto dai fanghi).
- Piazzale esterno di stoccaggio dei fanghi.

8.1.2 Campagna di misura del 20-24/11/2017

Le concentrazioni misurate sono riportate su mappa da Figura 8.6 a Figura 8.19. I dati puntuali completi sono riportati in Allegato IV. I parametri meteorologici misurati dalla centralina durante il periodo di misura sono riportati in Allegato III, rappresentati come valori medi su 10 minuti e valori medi sul periodo considerato.

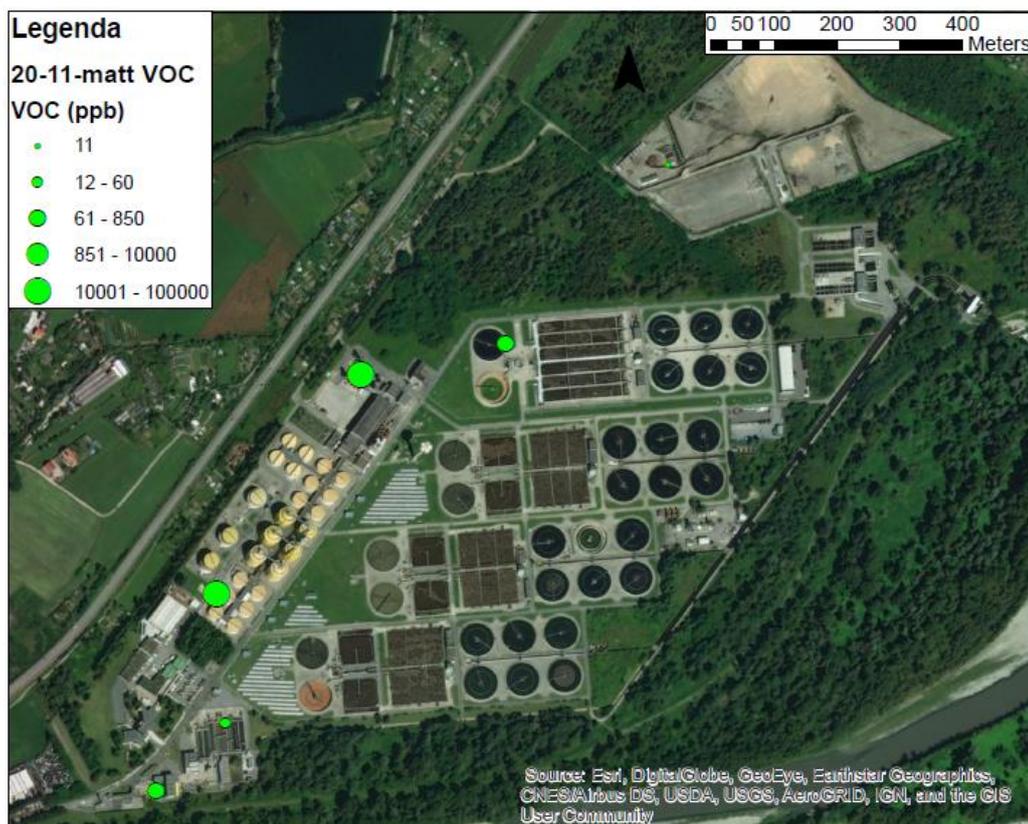


Figura 8.6 Concentrazioni di VOC misurate il mattino del 20/11/17

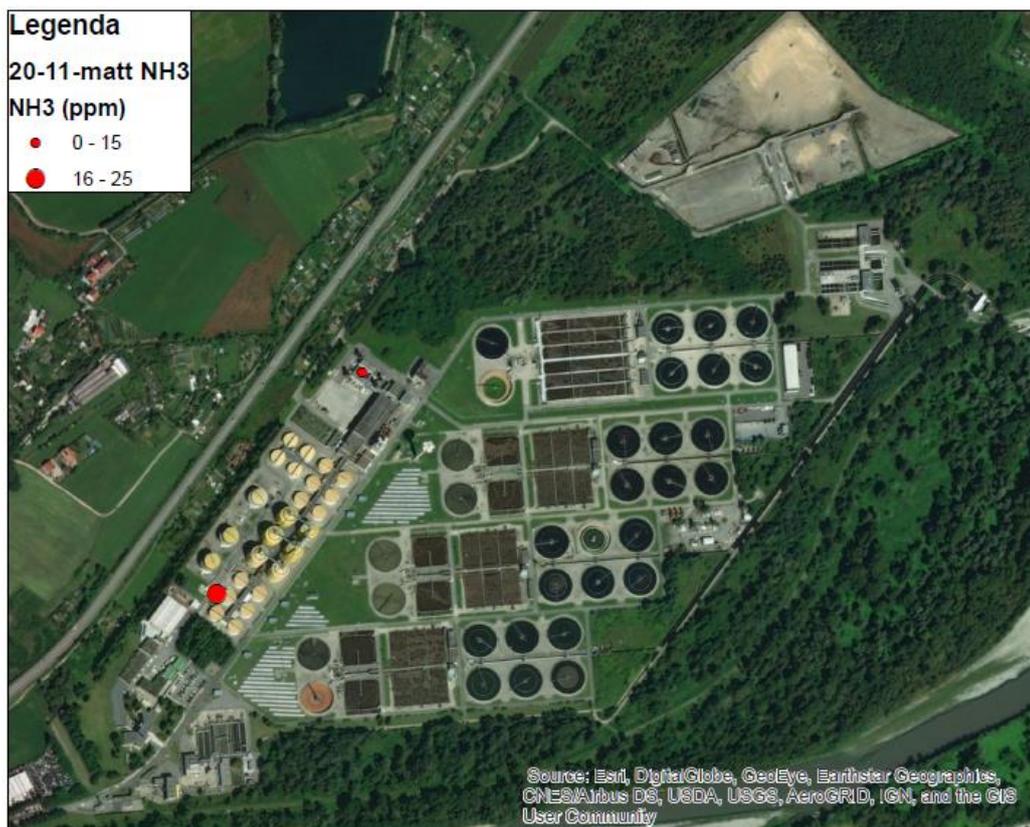


Figura 8.7 Concentrazioni di NH_3 misurate il mattino del 20/11/17

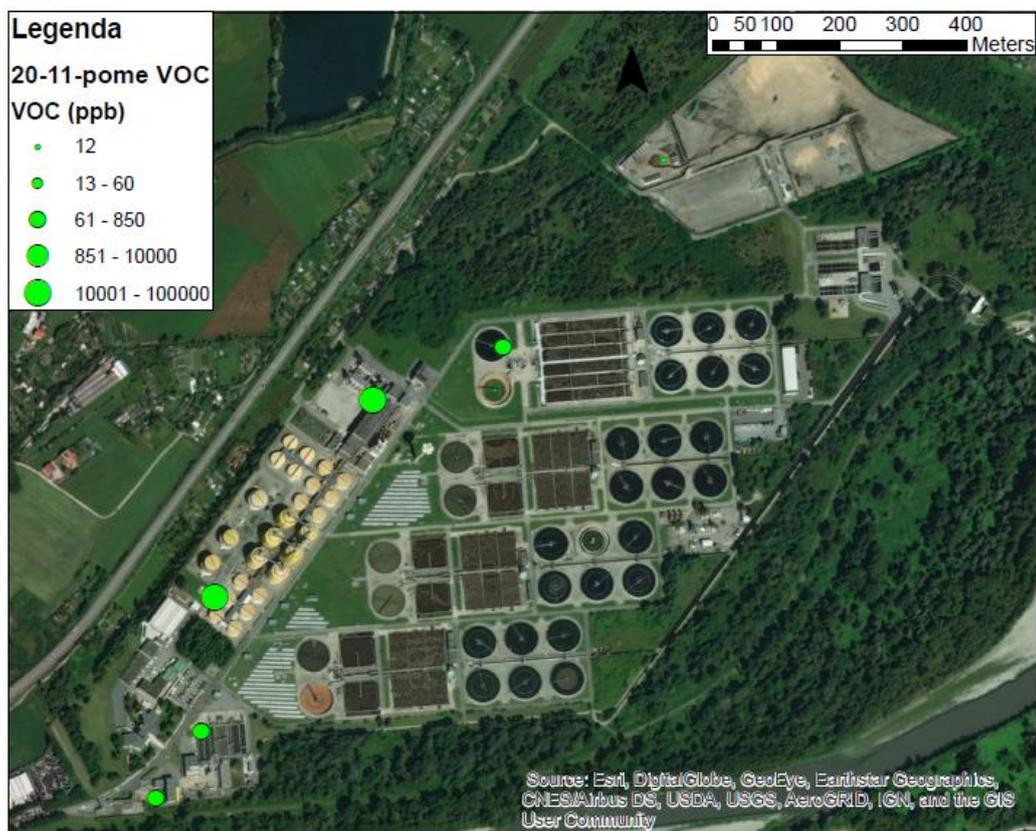


Figura 8.8 Concentrazioni di VOC misurate il pomeriggio del 20/11/17

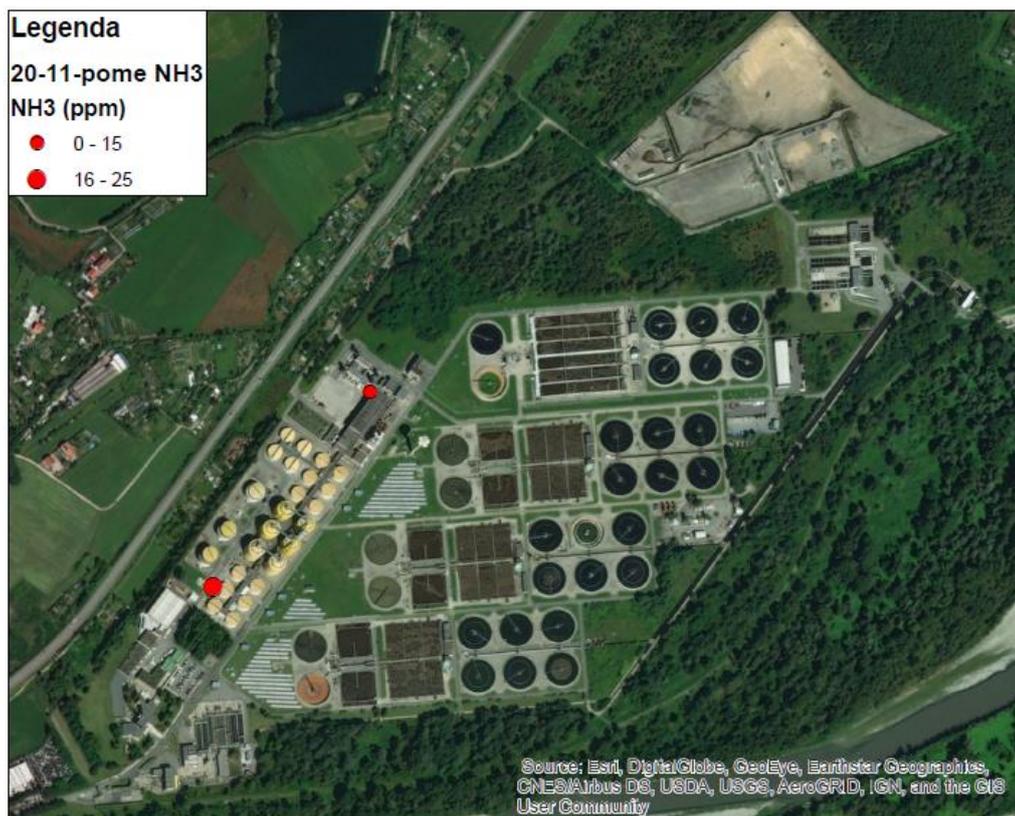


Figura 8.9 Concentrazioni di NH_3 misurate il pomeriggio del 20/11/17

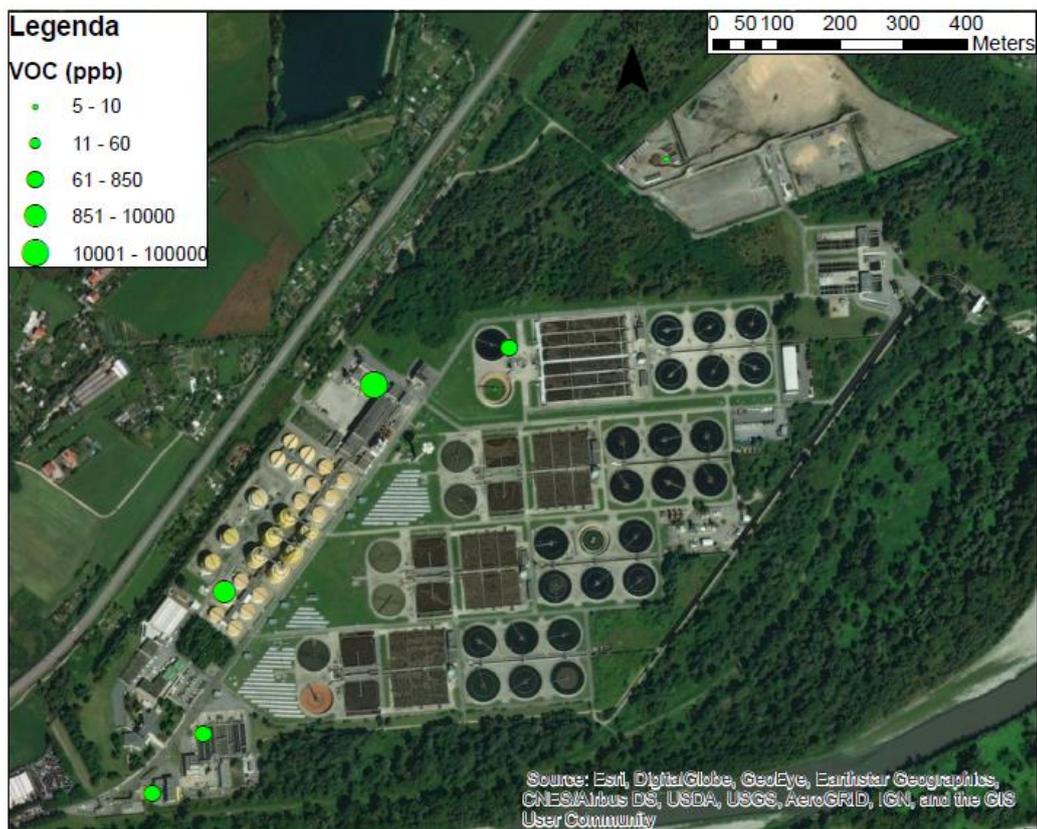


Figura 8.10 Concentrazioni di VOC misurate il mattino del 21/11/17

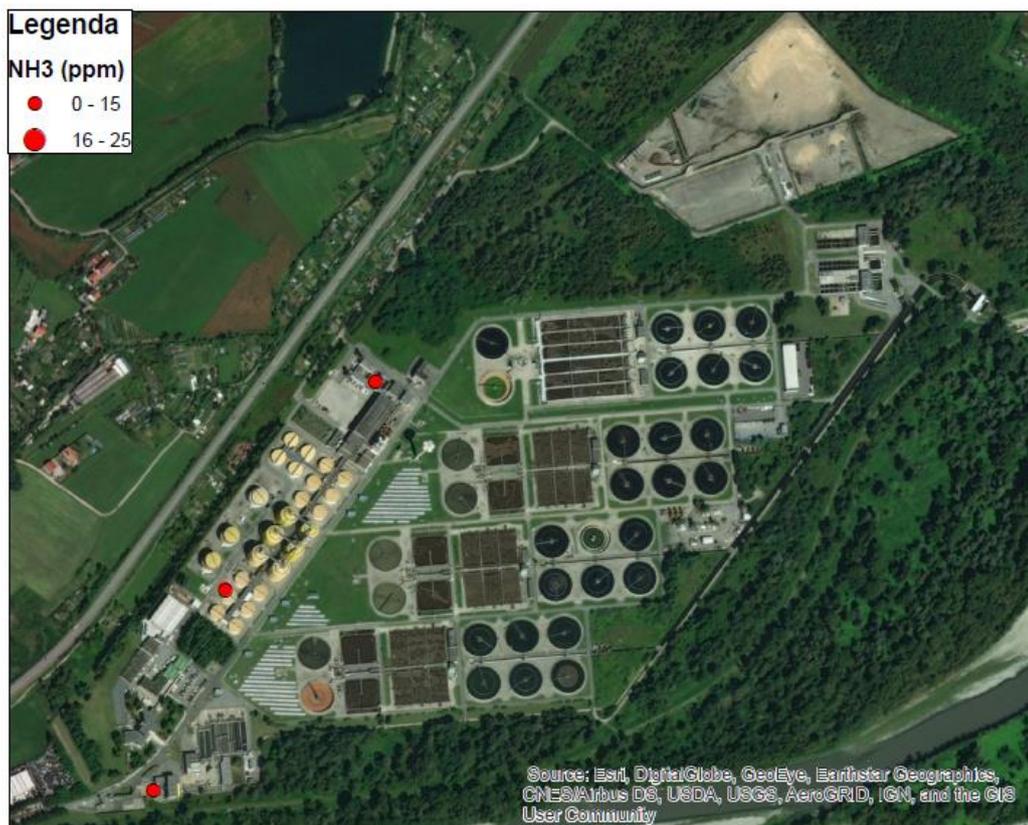


Figura 8.11 Concentrazioni di NH_3 misurate il mattino del 21/11/17

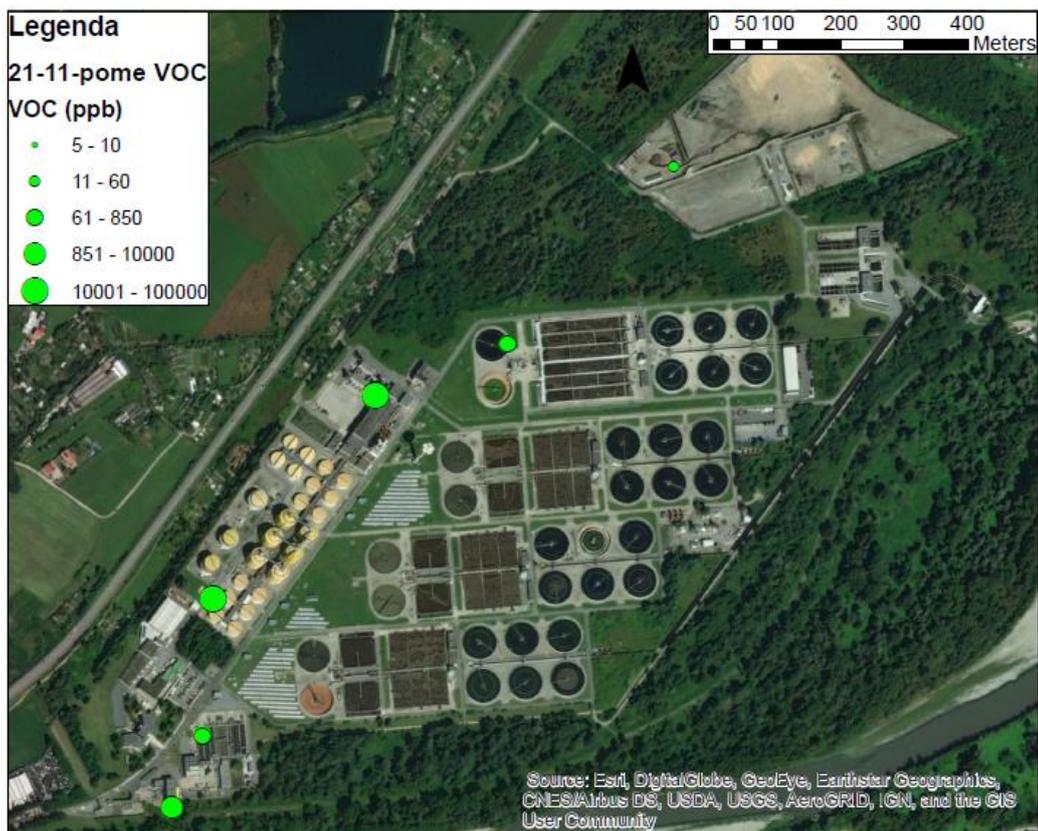


Figura 8.12 Concentrazioni di VOC misurate il pomeriggio del 21/11/17

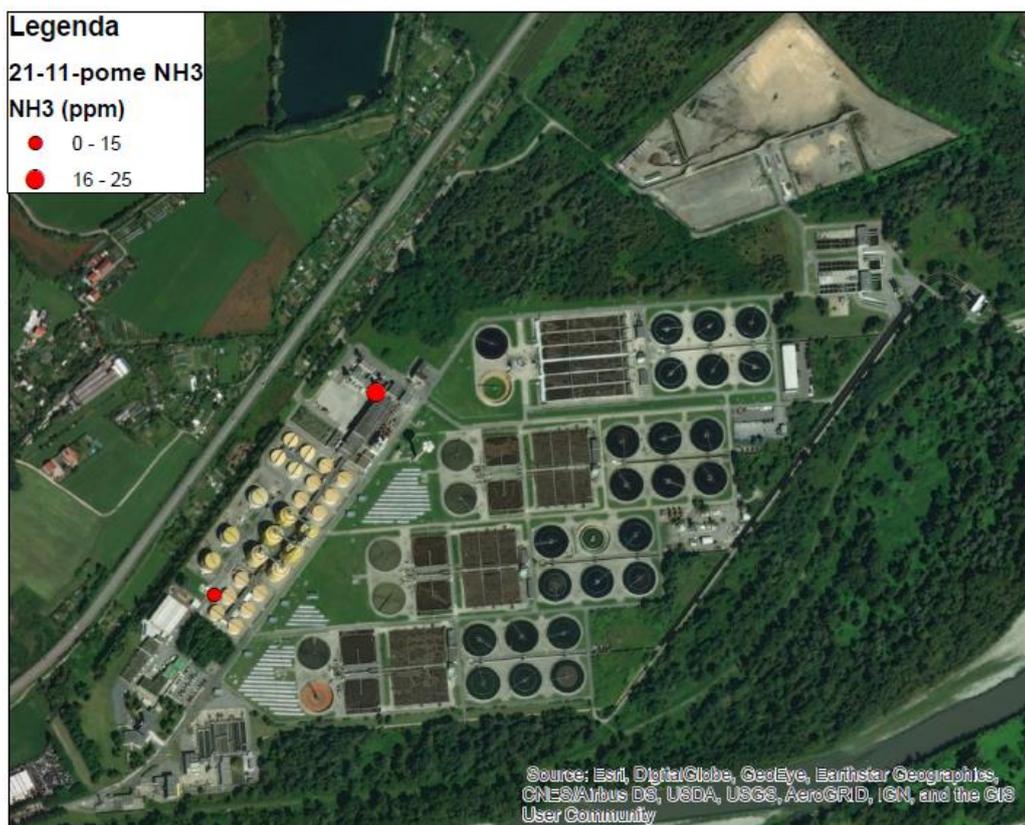


Figura 8.13 Concentrazioni di NH_3 misurate il pomeriggio del 21/11/17

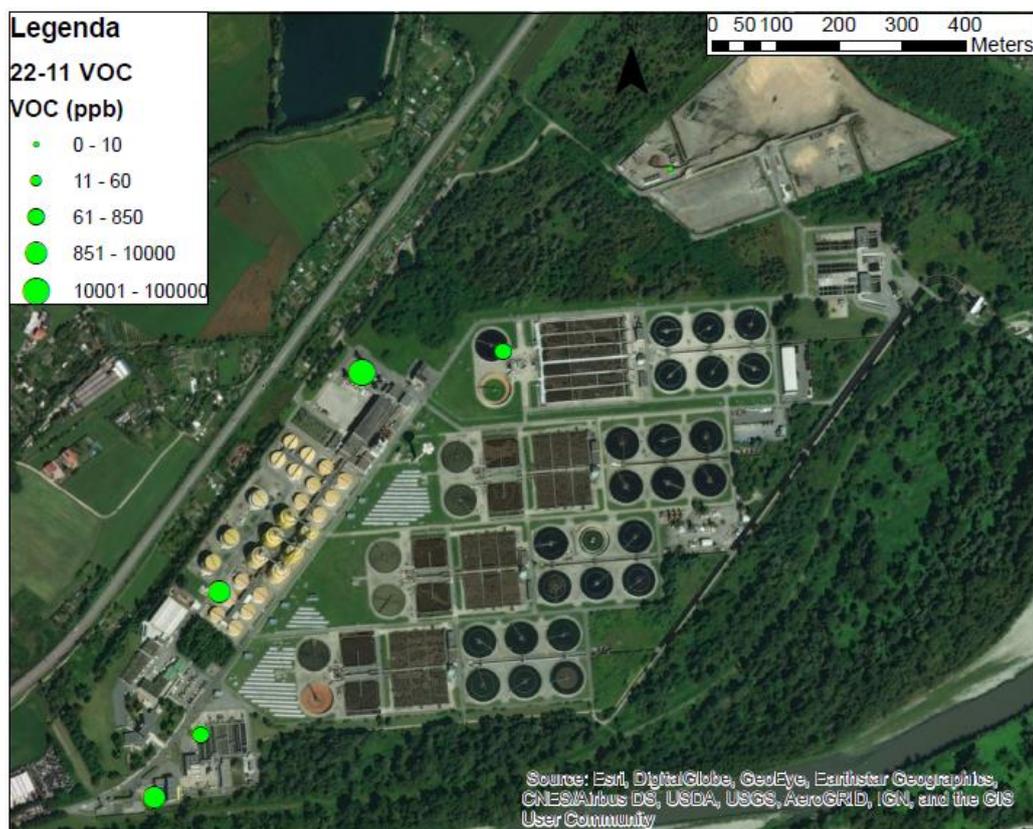


Figura 8.14 Concentrazioni di VOC misurate il mattino del 22/11/17

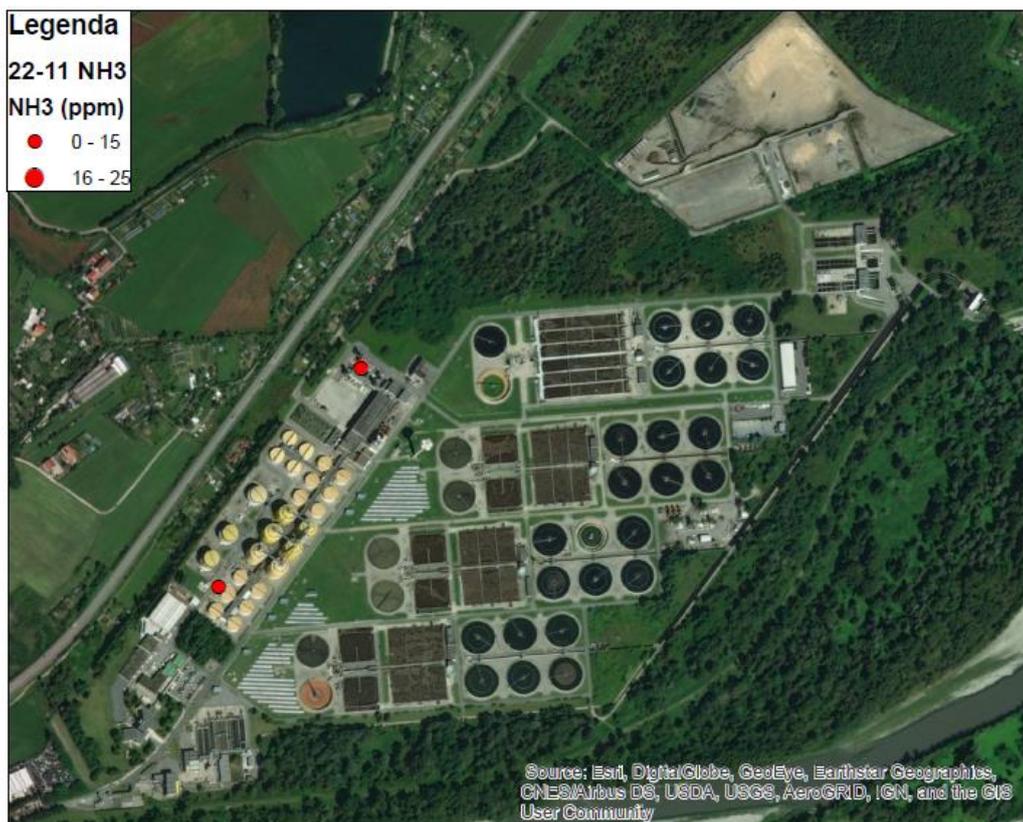


Figura 8.15 Concentrazioni di NH_3 misurate il mattino del 22/11/17

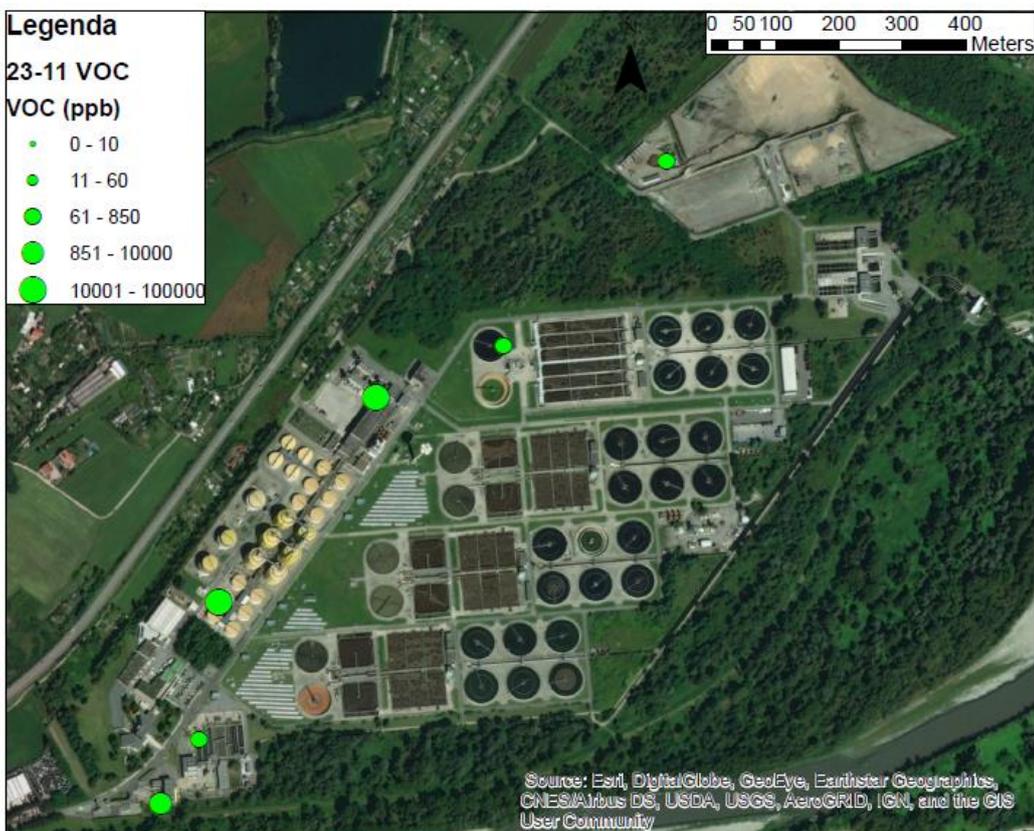


Figura 8.16 Concentrazioni di VOC misurate il pomeriggio del 23/11/17

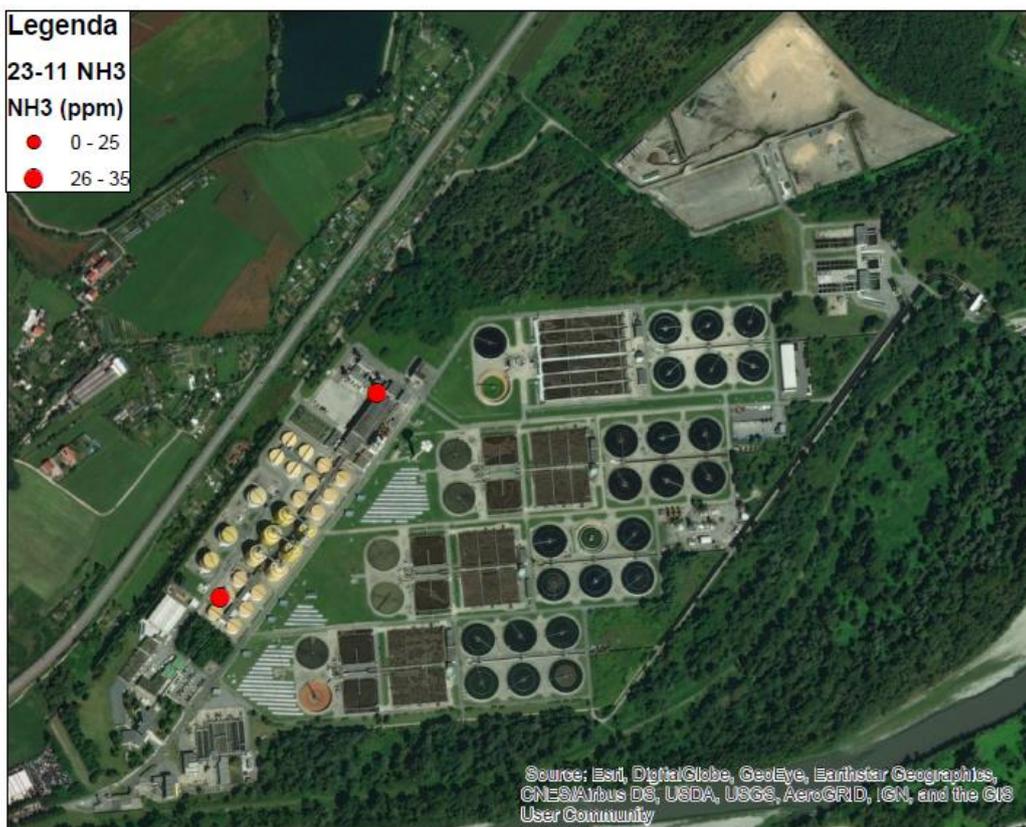


Figura 8.17 Concentrazioni di NH_3 misurate il pomeriggio del 23/11/17

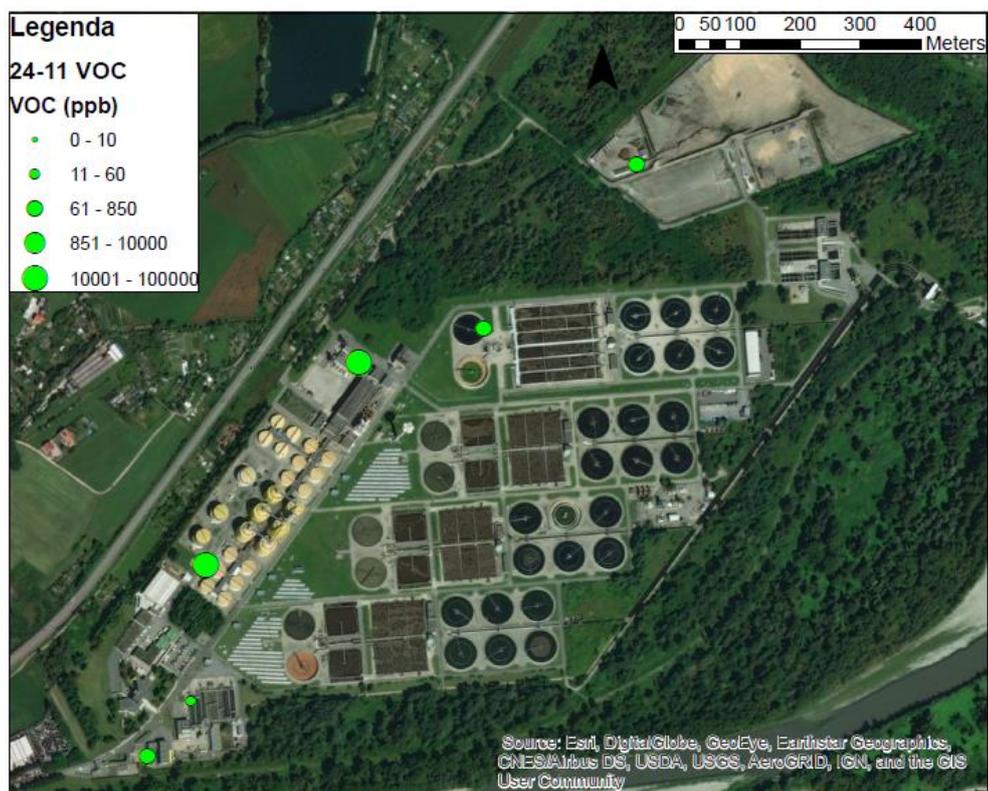


Figura 8.18 Concentrazioni di VOC misurate il mattino del 24/11/17

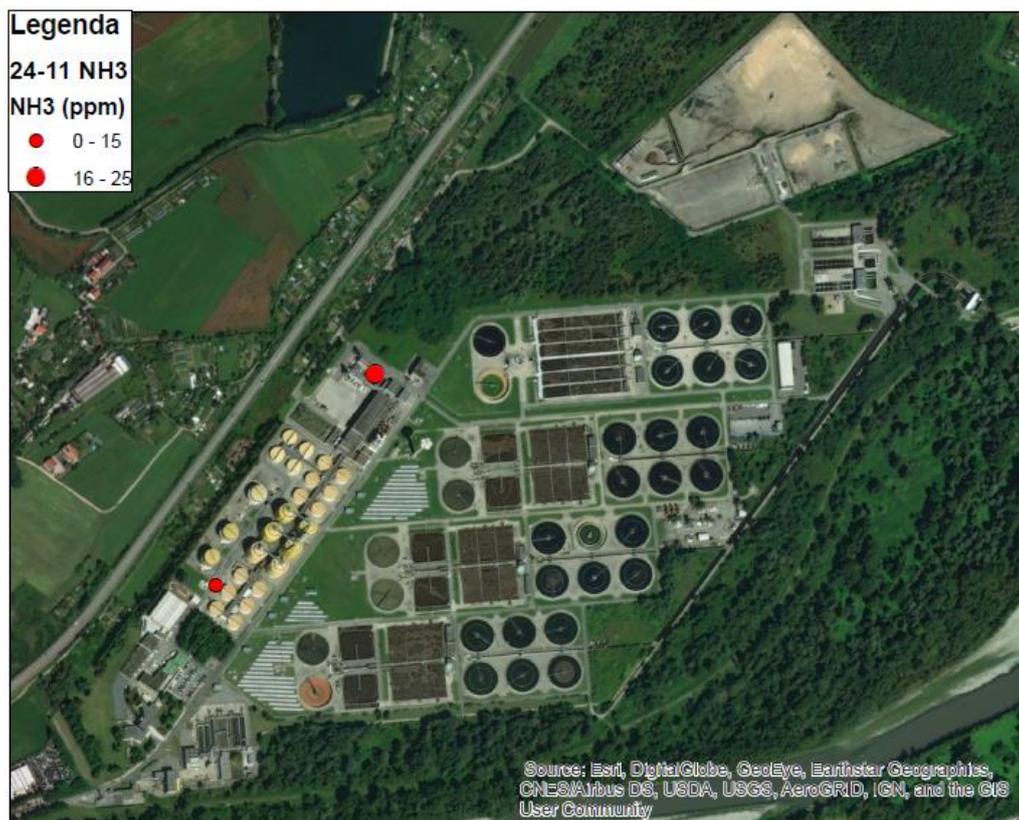


Figura 8.19 Concentrazioni di NH_3 misurate il mattino del 24/11/17

Ad eccezione dei giorni 23/11 e 24/11, le condizioni meteorologiche sono risultate di cielo sereno o parzialmente nuvoloso, con temperatura media compresa tra circa 8°C e 12°C , pressione atmosferica compresa tra 995 e 1000 mbar e umidità relativa media compresa tra circa 60% e 90%. Il vento è stato quasi assente, di direzione principale NE durante i giorni 20 e 24, S durante i giorni 22 e 23 e SW durante il giorno 21.

Le misure di concentrazione di VOC risultano uniformi durante i cinque giorni di rilevamento, presentando all'incirca la stessa proporzione tra i valori nelle diverse zone dell'impianto. Nei giorni 20/11 e 21/11 non si individuano differenze significative tra mattino e pomeriggio. I valori più alti di concentrazione sono rilevati nell'area di essiccazione fanghi (in prossimità del condotto esterno di convogliamento della fase liquida estratta dai fanghi) e nel pozzetto di raccolta del liquido chiarificato proveniente dal processo di post-ispessimento dei fanghi digeriti. In queste due zone, posizionando il misuratore quasi a contatto con la sorgente, in alcuni casi la concentrazione di VOC arriva ad oltrepassare il limite superiore di misura dello strumento (10^5 ppb).

I valori medi e massimi rilevati in ciascun punto dell'impianto sono riassunti in Tabella 8.1. È importante sottolineare che le concentrazioni decadono immediatamente man mano che ci si allontana dalla sorgente, raggiungendo valori poco significativi, o addirittura nulli, già a pochi metri di distanza dal punto di massimo (cfr. Allegato IV).

Le misurazioni di NH_3 confermano i risultati della precedente campagna, ovvero una concentrazione sotto la soglia di percettibilità dello strumento (0,1 ppm), ad eccezione di due zone:

- Concentrazioni fino ad un massimo di circa 30 ppm rilevate presso il condotto di convogliamento del liquido di risulta del processo di essiccazione dei fanghi;
- Concentrazioni fino ad un massimo di circa 32 ppm misurata presso il pozzetto di raccolta del chiarificato proveniente dal processo di post-ispessimento dei fanghi digeriti.

Tabella 8.1 Concentrazioni massime misurate durante la campagna del 20-24 novembre 2017

Zona	Conc. Max VOC (ppb)		Conc. Max NH_3 (ppm)	
	Vicino alla sorgente	A 5 m dalla sorgente	Vicino alla sorgente	A 5 m dalla sorgente
Ingresso/grigliatura	2223	60	4	0
Dissabbiatura	433	51	0	0
Sedimentazione primaria (modulo 4)	883	80	0	0
Post-ispessimento fanghi	16322	35	29	0
Essiccazione fanghi	99999*	140	32	0
Piazzale deposito fanghi	137	-	0	0

NOTE: *superato il limite di misura dello strumento

8.1.3 Campagna di misura del 10-16/05/2018

Le concentrazioni di VOC misurate sono riportate su mappa in Figura 8.20.

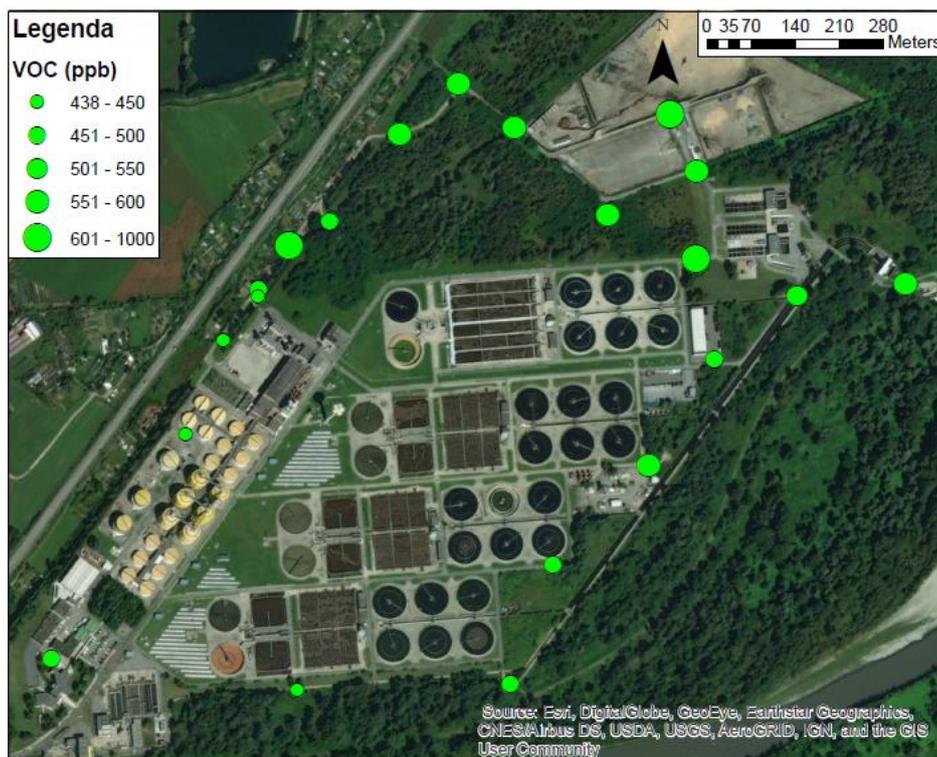


Figura 8.20 Concentrazioni di VOC misurate nel mese di maggio 2018

I parametri meteorologici misurati dalla centralina durante il periodo di misura sono riportati in Allegato III, rappresentati come valori medi su 10 minuti e valori medi sul periodo considerato. Le condizioni meteorologiche durante l'ultima campagna di misura sono risultate di cielo parzialmente nuvoloso durante i giorni 10 e 15 e di temporali e schiarite il giorno 16, con temperatura media compresa tra circa 16 °C e 22 °C, pressione atmosferica compresa tra 986 e 990 mbar e umidità relativa media compresa tra circa 40% e 88%. Il vento è stato quasi assente e di direzione principale SSW durante il giorno 10, ESE durante il 15 e SE durante il giorno 16. Nonostante la leggera variabilità di direzione del vento, temperatura e pressione, le condizioni meteorologiche possono essere considerate uniformi durante i tre giorni.

8.1.4 Misurazione e analisi di H₂S e speciazione dei VOC

Le analisi effettuate dalla ditta esterna nel mese di marzo hanno prodotto i risultati riportati in Allegato V. In Figura 8.21 sono riportati su mappa i valori di H₂S misurati.

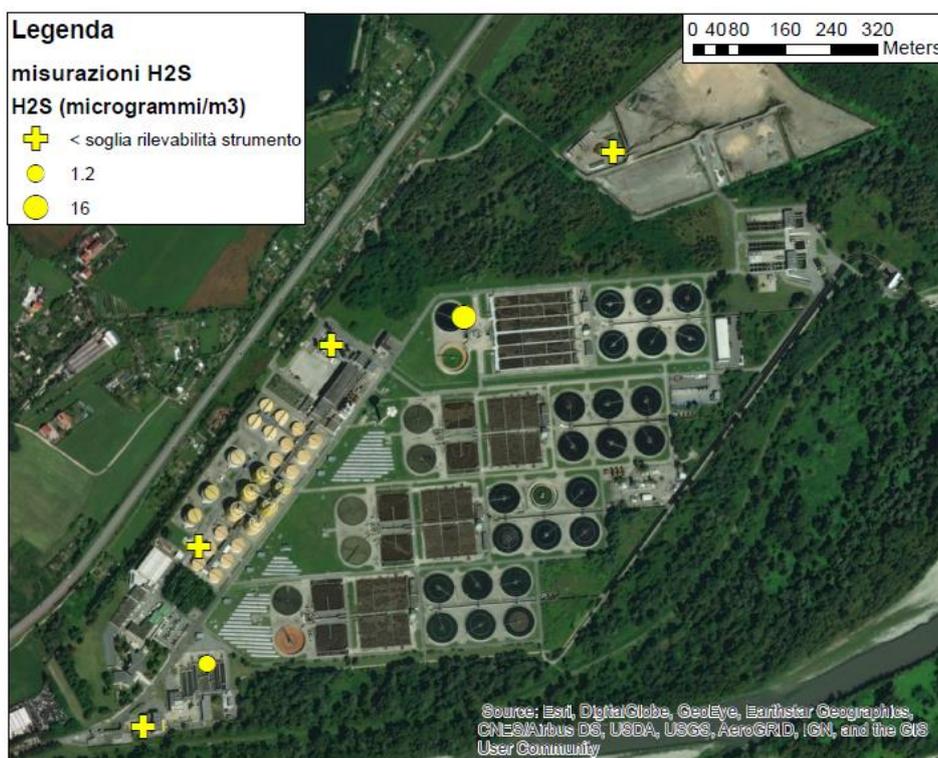


Figura 8.21 Valori di concentrazione di H₂S misurati nel mese di marzo 2018

Le misurazioni di H₂S rivelano sempre una concentrazione sotto la soglia di percettibilità dello strumento ad eccezione dei seguenti casi:

- una concentrazione media pari a 1.2 µg/m³ (circa 1 ppb) rilevata presso la dissabbiatura;
- una concentrazione media pari a 16 µg/m³ (circa 11 ppb) rilevata presso il sedimentatore primario.

In entrambi i casi si tratta comunque di valori relativamente bassi che superano di poco l'*Odor Threshold* dell'H₂S, pari a 0.3 ppb (Regione Lombardia, 2010) e sono sensibilmente inferiori al TLV (*Threshold Limit Value*) dell'H₂S, pari a 10000 ppb (APAT, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, 2003).

Sulla base di risultati della speciazione dei VOC, sono stati individuati i composti maggiormente responsabili dell'impatto odorigeno attraverso il calcolo dell'OAV (*Odor Activity Value*) di ciascuna componente. Come spiegato nei capitoli precedenti, tale valore è dato dal rapporto tra la concentrazione di ogni analita e la sua soglia di percezione olfattiva (*Odor Threshold*, OT). Gli analiti caratterizzati da $OAV > 1$ sono quelli che effettivamente contribuiscono all'impatto odorigeno (vedasi Tabella 8.2).

Tabella 8.2 Analiti caratterizzati da OAV maggiore di 1 e quindi percepiti dall'olfatto umano (Fonte per OT e TLV: AIHA (American Industrial Hygiene Association, 2013))

	C media (ppm)	OT (ppm)	OAV (-)	TLV (ppm)
- etilbutirrato	9.02205E-05	0.00004	2.255513	-
acido propionico	0.001074578	0.00099	1.085432	10

Entrambi gli analiti sono caratterizzati da una concentrazione media superiore alla soglia di percezione olfattiva OT, ma comunque sensibilmente inferiore al TLV (*Threshold Limit Value*), se presente.

8.2 Correlazioni fra dati meteorologici e concentrazioni di sostanze odorigene

Poiché dalle misurazioni effettuate si sono riscontrati valori significativi di NH₃ quasi esclusivamente in corrispondenza della linea fanghi, questa sostanza non è stata considerata ai fini della ricerca di eventuali correlazioni rilevanti tra dati meteorologici e le concentrazioni.

Inizialmente, si sono effettuati dei confronti con la temperatura. Un aumento di questa variabile comporta un notevole incremento di volatilità nei composti organici, corrispondente ad una maggiore percezione dell'odore. Le analisi dei dati hanno evidenziato questa tendenza. Dal diagramma in Figura 8.22 si può osservare che all'aumentare della temperatura corrisponde un incremento di concentrazione di VOC.

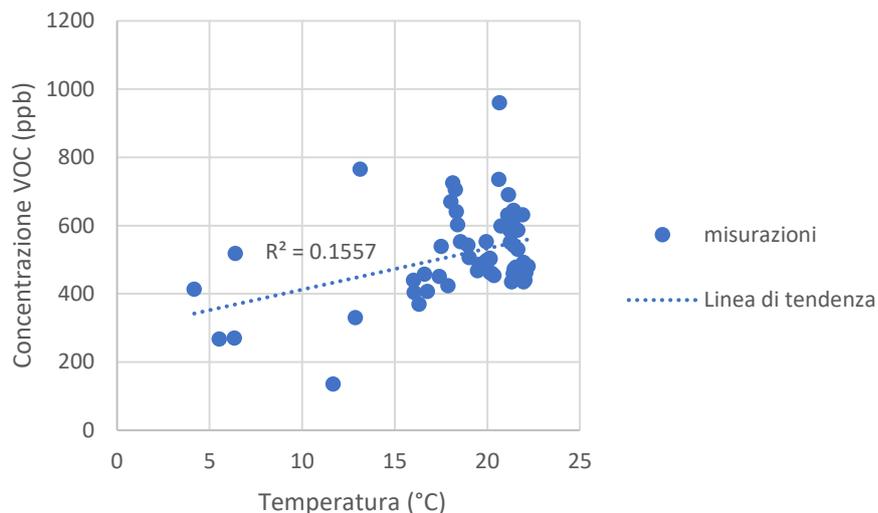


Figura 8.22 Correlazioni tra la temperatura rilevata dalla stazione meteo e la concentrazione di VOC misurata nelle campagne di novembre 2017 e di maggio 2018. Per essere messi a confronto con i dati riferiti alla campagna di maggio, per i valori relativi alla campagna di novembre è stata effettuata una media tra i dati meteorologici della fascia oraria di misurazione e tra le misurazioni nelle varie aree dell'impianto

In Figura 8.23 è riportata una sovrapposizione dell'andamento della temperatura e delle misure puntuali di concentrazione rispetto al tempo. In linea generale, il diagramma conferma la tendenza osservata precedentemente. Infatti, i valori di concentrazione misurati la mattina, in corrispondenza di temperature più basse, tendono ad essere più bassi rispetto a quelli misurati il pomeriggio, con l'unica eccezione della giornata di lunedì 20 novembre.

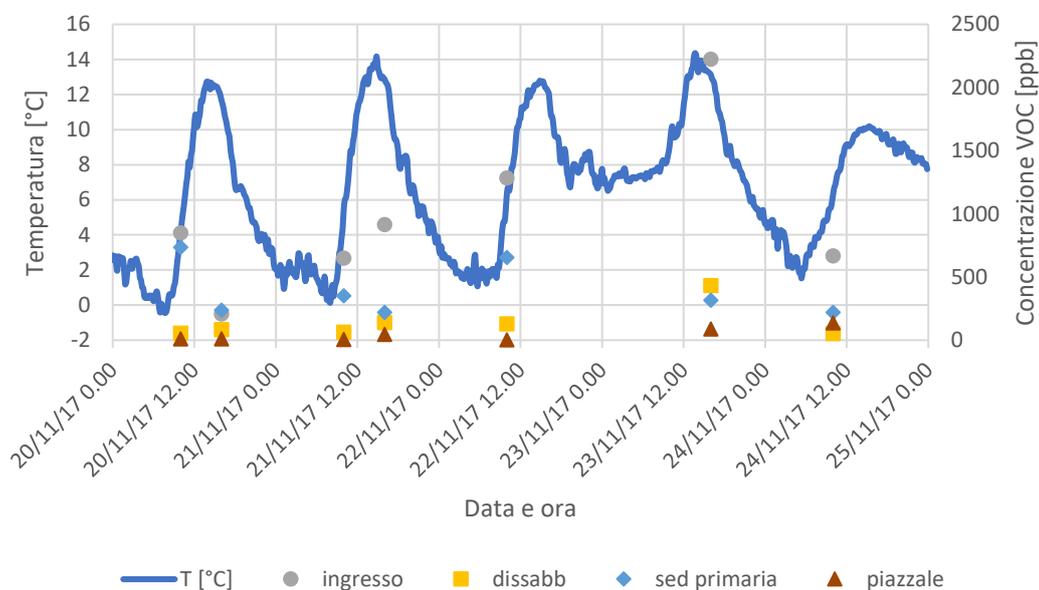


Figura 8.23 Sovrapposizione temperatura (°C) e concentrazione VOC (ppb)

La seconda variabile meteorologica presa in considerazione è stata il vento. Infatti, si tratta di una delle componenti principali che generano la turbolenza atmosferica. Ci si attende che la concentrazione al suolo sia minore in presenza di una maggiore velocità del vento. Come si può

notare in Figura 8.24, le misure confermano una certa tendenza a questo andamento, dato che ad un aumento della velocità del vento corrisponde una diminuzione della concentrazione di VOC.

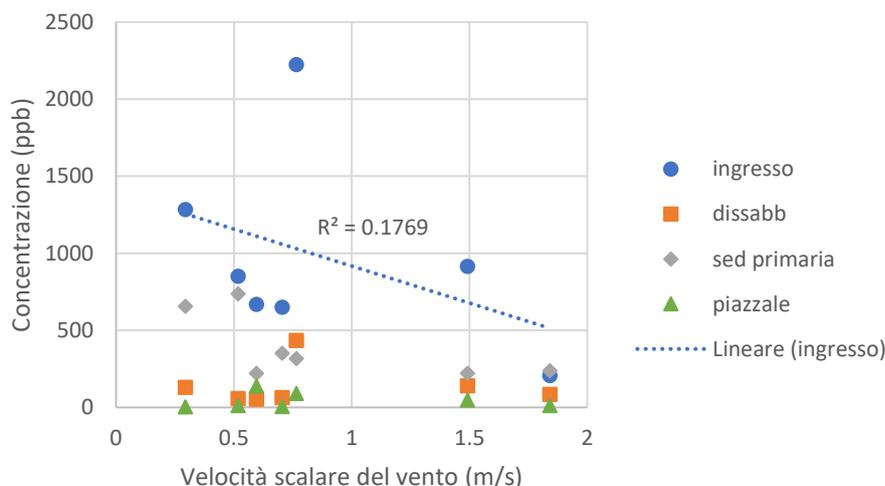


Figura 8.24 Correlazioni tra la velocità scalare del vento e la concentrazione di VOC misurata nella campagna di novembre 2017

Occorre comunque considerare che le differenze nelle velocità del vento non sono abbastanza elevate da poter differenziare venti deboli e venti forti. Infatti, le velocità rilevate dalla stazione meteorologica non superano mai i 3 m/s e dunque corrispondono a condizioni di calma di vento o brezza leggera.

Durante la campagna di misura di maggio, invece, si sono registrate correlazioni quasi nulle tra la concentrazione di VOC e la velocità del vento, come si può osservare in Figura 8.25. Questo significa che in presenza di vento debole la dispersione delle sostanze odorigene è governata da altri fattori, in particolare dai moti turbolenti dell'aria di origine convettiva.

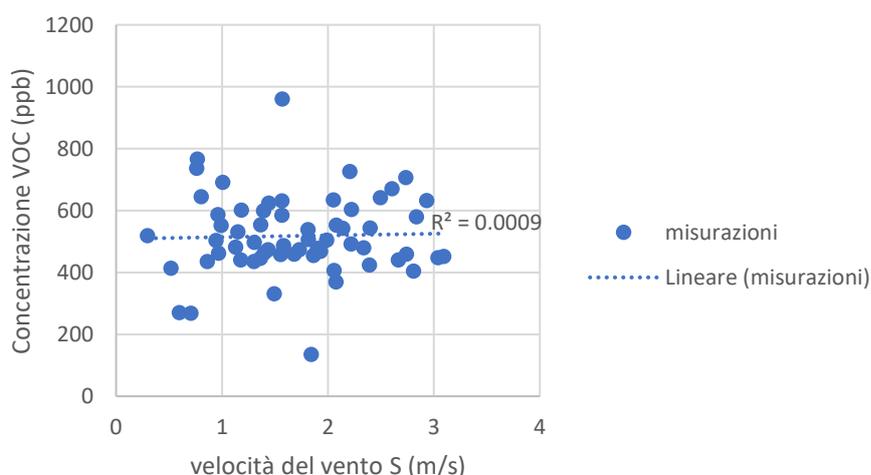


Figura 8.25 Correlazioni tra la velocità scalare del vento e la concentrazione di VOC misurata nella campagna di maggio 2018

Per quanto riguarda la radiazione solare globale dall'alto media, la campagna di novembre non ha rilevato alcun allineamento con le concentrazioni (vedasi Figura 8.26), mentre in quella di maggio esiste una certa tendenza ad una linearità (vedasi Figura 8.27). Ad un maggiore irraggiamento corrisponde infatti un aumento della temperatura e quindi della volatilizzazione delle sostanze odorigene.

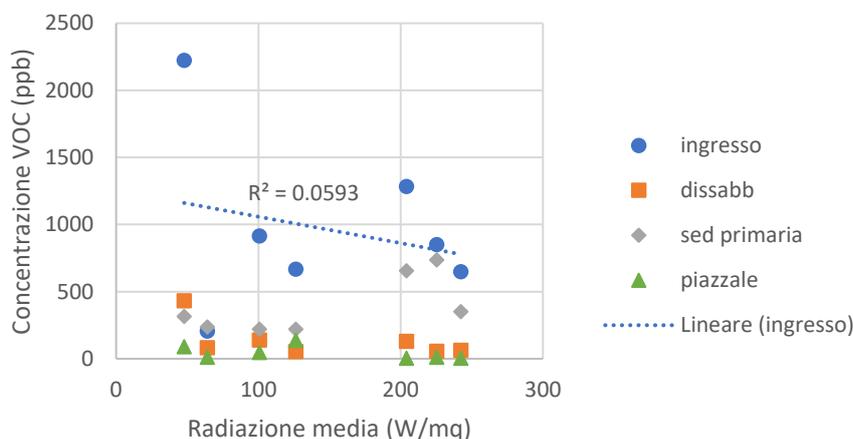


Figura 8.26 Correlazioni tra la radiazione solare globale dall'alto media e la concentrazione di VOC (campagna di novembre 2017)

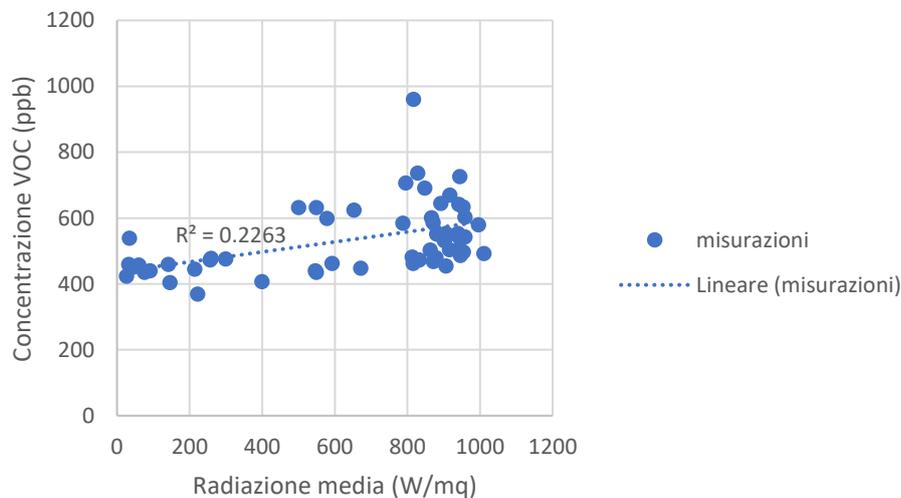


Figura 8.27 Correlazioni tra la radiazione solare globale dall'alto media e la concentrazione di VOC (campagna di maggio 2018)

Per concludere, in Tabella 8.3 sono riportati i valori degli indici di correlazione di Pearson calcolati tra la concentrazione di VOC e le variabili di tipo meteorologico. Quasi tutti i parametri risultano avere correlazioni scarse ($0 < r < 0.3$) con la concentrazione di VOC, le uniche correlazioni moderate ($0.3 < r < 0.7$) interessano la velocità del vento durante la campagna di misura di novembre e la radiazione dall'alto media misurata durante la campagna di maggio.

Tabella 8.3 Indici di correlazione di Pearson tra la concentrazione di VOC e i parametri meteorologici.

	Coefficienti di Pearson (r)	
	Novembre	Maggio
Temperatura	0.195313	0.139887
Umidità	0.034603	-0.15092
Velocità vento	-0.50556	-0.09302
Direzione vento	0.214533	0.183572
Pressione atmosferica	0.078283	-0.05348
Radiazione dall'alto media	-0.13704	0.475665

Dalla sola analisi delle correlazioni tra concentrazioni e variabili meteo non è stato possibile ottenere conclusioni attendibili, di conseguenza si è provato ad analizzare i parametri caratteristici della dispersione turbolenta, tramite la creazione di un modello micrometeorologico.

8.3 Modello micrometeorologico

A partire dalle relazioni riportate nel capitolo 7.3, utilizzando i dati meteorologici ricavati dalla centralina di misura situata presso l'impianto SMAT relativi alla campagna di misura di novembre, sono stati ottenuti i profili giornalieri dell'altezza dello strato limite. Lo script completo del modello micrometeorologico è riportato in Allegato V, insieme ai diagrammi dell'altezza di rimescolamento e della lunghezza di Monin-Obukhov.

In Figura 8.28 è riportato il profilo dell'altezza media giornaliera dello strato limite atmosferico.

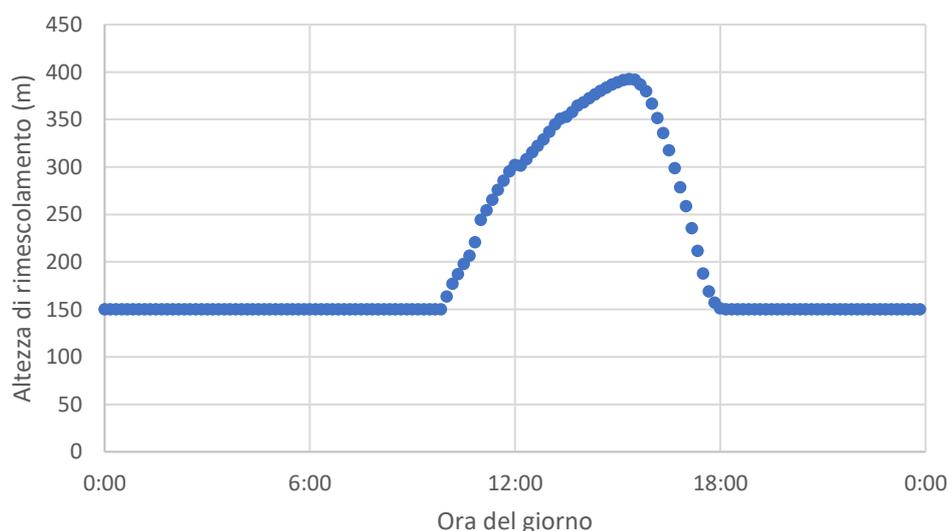


Figura 8.28 Altezza media giornaliera dello strato limite atmosferico, ottenuta attraverso il metodo di similarità di Monin-Obukhov (campagna di misura 20-24/11/2017)

Gli andamenti giornalieri mostrano come vi sia una tendenza all'innalzamento a partire dal mattino, fino a raggiungere il valore massimo nelle prime ore pomeridiane. L'altezza dello strato

limite inizia a scendere molto velocemente a partire da circa mezz'ora prima del tramonto, per poi mantenere un'altezza costante durante la notte, cioè in condizioni di stabilità.

Il profilo medio dell'altezza dello strato limite atmosferico fornito dal modello, così come quello di ciascun singolo giorno, rivela, come andamento e ordine di grandezza, che durante le campagne di misura le condizioni sono state generalmente di instabilità. Per questo motivo si ritiene che durante le campagne di misura non si siano osservati episodi di condizioni stabili o neutre, alle quali è possibile ricondurre una dispersione limitata delle sostanze odorigene, quindi possibili episodi di molestie.

Questa analisi verrà comunque approfondita nelle fasi successive del progetto, in cui si svilupperanno gli strumenti modellistici per il monitoraggio delle emissioni odorigene.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi si inserisce in un progetto di ricerca finalizzato allo sviluppo di un sistema di monitoraggio delle emissioni odorigene presso l'impianto SMAT di Castiglione Torinese.

Dopo aver effettuato un approfondito studio bibliografico e un sopralluogo preliminare dell'impianto in oggetto, è stato stabilito di caratterizzare le emissioni odorigene avvalendosi di un'analisi di tipo chimico.

Nel corso della Fase 1 del presente studio è stata effettuata una serie di misurazioni della distribuzione spaziale e temporale di concentrazione di due delle principali specie chimiche (VOC e NH_3), che sono state individuate come indicatori degli impatti odorosi insieme all' H_2S , la cui misurazione e analisi è stata affidata ad una ditta esterna.

Al tempo stesso è stata installata la stazione di misura dei parametri meteorologici all'interno dell'impianto SMAT.

I risultati dei sopralluoghi hanno evidenziato elementi utili al fine dell'installazione del sistema di misurazione in continuo, previsto per la successiva fase di sviluppo del progetto. Tali elementi possono essere così riassunti:

- Le misure hanno evidenziato che le zone più critiche dal punto di vista dell'impatto odorigeno sono: ingresso impianto/grigliatura; dissabbiatura; sedimentazione primaria (modulo 4); zona di disidratazione ed essiccamento dei fanghi. Il piazzale esterno di raccolta dei fanghi, sebbene caratterizzato da valori bassi di concentrazione, viene anch'esso considerato un'area critica, poiché situato nei pressi della statale SS11, importante punto di traffico.
- Le concentrazioni di VOC risultano maggiori in corrispondenza di alcuni punti dell'impianto (ingresso alla grigliatura, pozzetto di raccolta della fase liquida proveniente dal post-ispessimento dei fanghi, condotto di convogliamento della fase liquida estratta dall'essiccamento dei fanghi), caratterizzati da aree di emissione molto contenute (variabile da pochi cm^2 a circa 5 m^2).
- Allontanandosi dalle sorgenti di emissione, i valori di concentrazione di VOC decadono molto rapidamente, già a partire da pochi metri di distanza. Le misure della concentrazione di fondo eseguite durante i sopralluoghi rilevano valori compresi tra zero e poche unità di ppb.

Sulla base di un confronto con le soglie di percezione olfattiva (*Odor Threshold*) e con i valori di *Odor Activity Value* delle sostanze prese in considerazione, è possibile affermare che le emissioni

odorigene prodotte dall'impianto risultino sempre relativamente basse e, salvo alcune eccezioni, inferiori ai limiti di soglia (*Threshold Limit Value*) previsti per le sostanze misurate.

Lo studio di correlazione fra le concentrazioni di sostanze odorigene e le variabili meteorologiche non ha evidenziato correlazioni significative, di conseguenza si è provato ad analizzare i parametri caratteristici della dispersione turbolenta, tramite la creazione di un modello micrometeorologico. Il profilo medio dell'altezza dello strato limite atmosferico fornito dal modello, così come quello di ciascun singolo giorno, rivela, come andamento e ordine di grandezza, che durante le campagne di misura le condizioni sono state generalmente di instabilità. Si ritiene, dunque, che nel periodo di misurazione non si siano osservati episodi di condizioni stabili o neutre, alle quali è possibile ricondurre una dispersione limitata delle sostanze odorigene, quindi possibili episodi di molestie. Il progetto di ricerca in cui è inserito il presente lavoro di tesi prevede la continuazione dello studio dell'impatto odorigeno attraverso l'installazione di un sistema in continuo di misura delle concentrazioni, per valutare la distribuzione delle concentrazioni di specie odorigene in funzione del tempo e della distanza dalla sorgente, con l'ausilio di un software che permetta di simularne la dispersione. I valori ottenuti in questo modo verranno poi comparati con quelli ricavati dalle rilevazioni della centralina meteo e utilizzati nel presente elaborato di tesi, per verificarne la bontà.

ALLEGATI

Allegato I

Valori di riferimento di Odor Threshold per diverse specie chimiche (ppm,v/v) (Nagata, 1990)

Substance	Odor Threshold	Substance	Odor Threshold
Formaldehyde	0,5	Hydrogen sulfide	0,00041
Acetaldehyde	0,0015	Dimethyl sulfide	0,003
Propionaldehyde	0,001	Methyl allyl sulfide	0,00014
n-Butylaldehyde	0,00067	Diethyl sulfide	0,000033
Isobutylaldehyde	0,00035	Allyl sulfide	0,00022
n-Valeraldehyde	0,00041	Carbon disulfide	0,21
Isovaleraldehyde	0,0001	Dimethyl disulfide	0,0022
n-Hexylaldehyde	0,00028	Diethyl disulfide	0,002
n-Heptylaldehyde	0,00018	Diallyl disulfide	0,00022
n-Octylaldehyde	0,00001	Methyl mercaptane	0,00007
n-Nonylaldehyde	0,00034	Ethyl mercaptane	0,0000087
n-Decylaldehyde	0,0004	n-Propyl mercaptane	0,000013
Acrolein	0,0036	Isopropyl mercaptane	0,000006
Methacrolein	0,0085	n-Butyl mercaptane	0,0000028
Crotonaldehyde	0,023	Isobutyl mercaptane	0,0000068
Methanol	33	sec.Butyl mercaptane	0,00003
Ethanol	0,52	tert.Butyl mercaptane	0,000029
n-Propanol	0,094	n-Amyl mercaptane	0,00000078
Isopropanol	26	Isoamyl mercaptane	0,00000077
n-Butanol	0,038	n-Hexyl mercaptane	0,000015
Isobutanol	0,011	Thiophene	0,00056
sec.Butanol	0,22	Tetrahydrothiophene	0,00062
tert.Butanol	4,5	Nitrogen dioxide	0,12
n-Pentanol	0,1	Ammonia	1,5
Isopentanol	0,0017	Methylamine	0,035
sec.Pentanol	0,29	Ethylamine	0,046
tert.Pentanol	0,088	n-Propylamine	0,061
n-Hexanol	0,006	Isopropylamine	0,025
n-Heptanol	0,0048	n-Butylamine	0,17
n-Octanol	0,0027	Isobutylamine	0,0015
Isooctanol	0,0093	sec. Butylamine	0,17
n-Nonanol	0,0009	tert. Butylamine	0,17
n-Decanol	0,00077	Dimethylamine	0,033
2-Ethoxyethanol	0,58	Diethylamine	0,048
2-n-Butoxyethanol	0,043	Trimethylamine	0,000032
1-Butoxy-2-propanol	0,16	Triethylamine	0,0054
Phenol	0,0056	Acetonitrile	13
o-Cresol	0,00028	Acrylonitrile	8,8
m-Cresol	0,0001	Methacrylonitrile	3
p-Cresol	0,000054	Pyridine	0,063
Geosmin	0,0000065	Indole	0,0003
Acetic acid	0,006	Skatole	0,0000056
Propionic acid	0,0057	Ethyl-o-toluidine	0,026
n-Butyric acid	0,00019	Propane	1500
Isobutyric acid	0,0015	n-Butane	1200
n-Valeric acid	0,000037	n-Pentane	1,4
Isovaleric acid	0,000078	Isopentane	1,3

Substance	Odor Threshold	Substance	Odor Threshold
n-Hexanoic acid	0,0006	n -Hexane	1,5
Isohexanoic acid	0,0004	2-Methylpentane	7
Sulfur dioxide	0,87	3-Methylpentane	8,9
Carbonyl sulfide	0,055	2,2-Dimethylbutane	20
2,3-Dimethylbutane	0,42	Ethyl acetate	0,87
n-Heptane	0,67	n-Propyl acetate	0,24
2-Methylhexane	0,42	Isopropyl acetate	0,16
3-Methylhexane	0,84	n-Butyl acetate	0,016
3-Ethylpentane	0,37	Isobutyl acetate	0,008
2, 2-Dimethylpentane	38	sec.Butyl acetate	0,0024
2, 3-Dimethylpentane	4,5	tert.Butyl acetate	0,071
2, 4-Dimethylpentane	0,94	n-Hexyl acetate	0,0018
n-Octane	1,7	Methyl propionate	0,098
2-Methylheptane	0,11	Ethyl propionate	0,007
3-Methylheptane	1,5	n-Propyl propionate	0,058
4-Methylheptane	1,7	Isopropyl propionate	0,0041
2,2,4-Trimethylpentane	0,67	n-Butyl propionate	0,036
n-Nonane	2,2	Isobutyl propionate	0,02
2,2,5-Trimethylhexane	0,9	Methyl n-butyrate	0,0071
n-Undecane	0,87	Methyl isobutyrate	0,0019
n-Decane	0,62	Ethyl n-butyrate	0,00004
n-Dodecane	0,11	Ethyl isobutyrate	0,000022
Propylene	13	n-Propyl n-butyrate	0,011
1-Butene	0,36	Isopropyl n-butyrate	0,0062
Isobutene	10	n-propyl isobutyrate	0,002
1-Pentene	0,1	Isopropyl isobutyrate	0,035
1-Hexene	0,14	n-Butyl n-butyrate	0,0048
1-Heptene	0,37	Isobutyl n-butyrate	0,0016
1-Octene	0,001	n-Butyl isobutyrate	0,022
1-Nonene	0,00054	Isobutyl isobutyrate	0,075
1,3-Butadiene	0,23	Methyl n-valerate	0,0022
Isoprene	0,048	Methyl isovalerate	0,0022
Benzene	2,7	Ethyl n-valerate	0,00011
Toluene	0,33	Ethyl isovalerate	0,000013
Styrene	0,035	n-Propyl n-valerate	0,0033
Ethylbenzene	0,17	n-Propyl isovalerate	0,000056
o-Xylene	0,38	n-Butyl isovalerate	0,012
m-Xylene	0,041	Isobutyl isovalerate	0,0052
p-Xylene	0,058	Methyl acrylate	0,0035
n-Propylbenzene	0,0038	Ethyl acrylate	0,00026
Isopropylbenzene	0,0084	n-Butyl acrylate	0,00055
1,2,4-Trimethylbenzen	0,12	Isobutyl acrylate	0,0009
1,3,5-Trimethylbenzen	0,17	Methyl methacrylate	0,21
o-Ethyltoluene	0,074	2-Ethoxyethyl acetate	0,049
m-Ethyltoluene	0,018	Acetone	42
p-Ethyltoluene	0,0083	Methyl ethyl ketone	0,44
o-Diethylbenzene	0,0094	Methyl n-propyl ketone	0,028

Substance	Odor Threshold	Substance	Odor Threshold
m-Diethylbenzene	0,07	Methyl isopropyl ketone	0,5
p-Diethylbenzene	0,00039	Methyl n-butyl ketone	0,024
n-Butylbenzene	0,0085	Methyl isobutyl ketone	0,17
1,2,3,4-Tetramethylbenzen	0,011	Methyl sec,butyl ketone	0,024
1,2,3,4-Tetrahydronaphthalene	0,0093	Methyl tert,butyl ketone	0,043
α -Pinene	0,018	Methyl n-amyl ketone	0,0068
β -Pinene	0,033	Methyl isoamyl ketone	0,0021
Limonene	0,038	Diacetyl	0,00005
Methylcyclopentane	1,7	Ozone	0,0032
Cyclohexane	2,5	Furane	9,9
Methylcyclohexane	0,15	2,5-Dihydrofurane	0,093
Methyl formate	130	Chlorine	0,049
Ethyl formate	2,7	Dichloromethane	160
n-Propyl formate	0,96	Chloroform	3,8
Isopropyl formate	0,29	Trichloroethylene	3,9
n-Butyl formate	0,087	Carbon tetrachloride	4,6
Isobutyl formate	0,49	Tetrachloroethylene	0,77
Mthyl acetate	1,7		

Allegato II

Risultati della campagna di misura dei giorni 23, 25 e 27 ottobre 2017

Data	Coordinate UTMED50	Conc. NH ₃ (ppm)	Conc. VOC (ppb)	Note
2017-10-23	'404813/4998336'	5	1894	ingresso'
2017-10-23	'404886/4998374'	0	82	disabbiatore -- lato 1'
2017-10-23	'404907/4998449'	0	79	disabbiatore -- lato 2'
2017-10-23	'405092/4998509'	0	311	modulo 1 -- sedimentatore primario'
2017-10-23	'405182/4998620'	0	313	modulo 2 -- sedimentatore primario'
2017-10-23	'405323/4998804'	0	86	modulo 3 -- sedimentatore primario'
2017-10-23	'405338/4999025'	0	796	modulo 4 -- sedimentatore primario'
2017-10-23	'405170/4999002'	0	21	disidratazione fanghi'
2017-10-23	'405623/4999352'	0	12	piazzale stoccaggio'
2017-10-25	'404813/4998338'	0	729	ingresso'
2017-10-25	'404905/4998452'	0	362	disabbiatore'
2017-10-25	'405108/4998571'	0	207	modulo 1 -- denitrificazione'
2017-10-25	'405266/4998600'	0	200	modulo 1 -- ossidazione biologica'
2017-10-25	'405084/4998572'	0	425	modulo 1 -- sedimentatore primario'
2017-10-25	'405441/4998612'	0	42	modulo 1 -- sedimentatore secondario'
2017-10-25	'405278/4998676'	0	105	modulo 2 -- denitrificazione'
2017-10-25	'405317/4998691'	0	20	modulo 2 -- ossidazione biologica'
2017-10-25	'405200/4998733'	0	113	modulo 2 -- sedimentatore primario'
2017-10-25	'405472/4998662'	0	17	modulo 2 -- sedimentatore secondario'
2017-10-25	'405386/4998898'	0	10	modulo 3 -- denitrificazione'
2017-10-25	'405445/4998914'	0	12	modulo 3 -- ossidazione biologica'
2017-10-25	'405308/4998887'	0	82	modulo 3 -- sedimentatore primario'
2017-10-25	'405531/4998914'	0	21	modulo 3 -- sedimentatore secondario'
2017-10-25	'405424/4999061'	0	11	modulo 4 -- denitrificazione'
2017-10-25	'405548/4998965'	0	35	modulo 4 -- ossidazione biologica'
2017-10-25	'405363/4999048'	0	446	modulo 4 -- sedimentatore primario'
Data	Coordinate UTMED50	Conc. NH ₃ (ppm)	Conc. VOC (ppb)	Note
2017-10-25	'405643/4998959'	0	27	modulo 4 -- sedimentatore secondario
2017-10-25	'405167/4998983'	0	490	disidratazione fanghi'
2017-10-25	'405167/4998983'	0	92	piazzale stoccaggio'
2017-10-25	'405629/4998706'	0	120	digestore'
2017-10-25	'404917/4998654'	0	231	pre-ispessimento'
2017-10-27	'404818/4998336'	0	1266	ingresso'
2017-10-27	'404903/4998447'	0	600	disabbiatore'
2017-10-27	'405160/4998585'	0	381	modulo 1 -- denitrificazione'
2017-10-27	'405194/4998592'	0	356	modulo 1 -- ossidazione biologica'

2017-10-27	'405079/4998576'	0	568	modulo 1 -- sedimentatore primario'
2017-10-27	'405370/4998603'	0	290	modulo 1 -- sedimentatore secondario'
2017-10-27	'405229/4998642'	0	331	modulo 2 -- denitrificazione'
2017-10-27	'405369/4998635'	0	312	modulo 2 -- ossidazione biologica'
2017-10-27	'405211/4998643'	0	500	modulo 2 -- sedimentatore primario'
2017-10-27	'405432/4998650'	4	440	modulo 2 -- sedimentatore secondario'
2017-10-27	'405392/4998900'	0	405	modulo 3 -- denitrificazione'
2017-10-27	'405398/4998906'	0	390	modulo 3 -- ossidazione biologica'
2017-10-27	'405310/4998889'	0	475	modulo 3 -- sedimentatore primario'
2017-10-27	'405358/4999024'	0	602	modulo 3 -- sedimentatore secondario'
2017-10-27	'405424/4999061'	0	11	modulo 4 -- denitrificazione'
2017-10-27	'405548/4998965'	0	35	modulo 4 -- ossidazione biologica'
2017-10-27	'405363/4999048'	0	446	modulo 4 -- sedimentatore primario'
2017-10-27	'405643/4998959'	0	27	modulo 4 -- sedimentatore secondario'
2017-10-27	'405167/4998983'	0	490	disidratazione fanghi'
2017-10-27	'405167/4998983'	0	92	piazzale stoccaggio'
2017-10-27	'405629/4998706'	0	120	-digestore'
2017-10-27	'404917/4998654'	0	231	pre-ispessimento'

Allegato III

Parametri meteorologici

Parametri meteorologici misurati dalla centralina durante il periodo delle misure di concentrazione (giorno 23/10/2017).

data	velocità vettoriale media vento (m/s)	direzione media vettoriale media vento °	deviazione standard direzione vento °	pressione media (mbar)	temperatura media (°C)	radiazione globale dall'alto media (W/mq)	umidità relativa media (%)
condizioni generali osservate: tempo sereno							
23/10/2017 10:00	0,861	291,7	34,52	993	16,3	420,2	35,3
23/10/2017 10:10	0,676	156,3	36,68	992	17,23	437,6	30,21
23/10/2017 10:20	0,733	97,9	45,48	992	17,9	455,9	28,93
23/10/2017 10:30	0,22	64,18	68,29	992	18,07	470,4	29,22
23/10/2017 10:40	0,711	181,9	58,14	992	18,66	489,9	28,91
23/10/2017 10:50	1,175	214,6	26,86	992	19,19	501,5	28,04
23/10/2017 11:00	2,52	199	9	992	19,74	523,4	25,19
23/10/2017 11:10	2,296	208,4	10,95	992	20,57	535,6	18,19
23/10/2017 11:20	1,847	234,5	39,94	992	20,95	545,6	16,34
23/10/2017 11:30	1,768	234	13,14	992	21,32	553,6	15,56
23/10/2017 11:40	1,727	212,5	21,55	992	21,31	559,9	15,74
23/10/2017 11:50	1,301	239,3	20,18	992	22,08	560,8	14,73
23/10/2017 12:00	2,203	263,5	11,38	992	22,14	568,8	14,83
23/10/2017 12:10	0,96	305,2	29,57	992	21,99	564,8	15,19
23/10/2017 12:20	1,104	245,9	37,91	992	22,29	497,6	14,8
23/10/2017 12:30	0,708	264,3	47,71	992	22,49	562,4	15,07
media sul periodo	1,301	213,3	31,96	992	20,14	515,5	21,64

Parametri meteorologici misurati dalla centralina durante il periodo delle misure di concentrazione (giorno 25/10/2017)

data	velocità vettoriale media vento (m/s)	direzione media vettoriale media vento °	deviazione standard direzione vento °	pressione media (mbar)	temperatura media (°C)	radiazione globale dall'alto media (W/mq)	umidità relativa media (%)
condizioni generali osservate: tempo sereno							
25/10/2017 10:00	0,312	197,3	47,55	1003	13,11	204	53,92
25/10/2017 10:10	0,579	37,07	23,22	1003	13,82	288,4	52,96
25/10/2017 10:20	0,296	94,6	52,15	1004	14,89	394,6	45,91
25/10/2017 10:30	0,706	130,8	25,92	1004	15,1	397,6	45,09
25/10/2017 10:40	0,751	55,5	29,45	1003	15,31	403,3	44,51
25/10/2017 10:50	0,778	76,09	21,36	1003	15,64	426,6	43,59
25/10/2017 11:00	1,04	42,65	25,83	1003	15,92	441,1	41,69
25/10/2017 11:10	1,302	64,36	24,39	1003	16,07	454,8	41,11
25/10/2017 11:20	1,281	56,86	17,63	1003	16,35	463,8	41,49
25/10/2017 11:30	0,542	40,3	39,44	1003	16,93	472,3	40,16
25/10/2017 11:40	0,876	3,826	22,09	1003	17,31	474,5	39,15
25/10/2017 11:50	1,987	3,426	8,26	1003	17,4	480	38,61
25/10/2017 12:00	1,688	5,907	16,64	1003	17,68	479,7	38,51
25/10/2017 12:10	1,432	357,4	23,88	1003	17,78	473,6	38,31
25/10/2017 12:20	1,515	39,4	20,56	1003	18,32	443	36,62
25/10/2017 12:30	1,418	35,94	20,65	1003	18,59	476,7	35,06
media sul periodo	1,031	77,6	26,19	1003	16,26	423,4	42,29

Parametri meteorologici misurati dalla centralina durante il periodo delle misure di concentrazione (giorno 27/10/2017).

data	velocità vettoriale media vento (m/s)	direzione media vettoriale media vento °	deviazione standard direzione vento °	pressione media (mbar)	temperatura media (°C)	radiazione globale dall'alto media (W/mq)	umidità relativa media (%)
condizioni generali osservate: tempo sereno, cielo leggermente velato							
27/10/2017 10:00	1,891	218,9	10,06	994	10,08	231,8	82,1
27/10/2017 10:10	1,342	283,4	15,5	994	10,52	251,3	76,18
27/10/2017 10:20	1,403	225,9	17,03	994	10,93	202,7	72,97
27/10/2017 10:30	1,392	208,9	16,6	994	11,31	268,8	71,09
27/10/2017 10:40	0,804	218,8	22,2	994	11,46	219,5	69,22
27/10/2017 10:50	0,469	241,2	31,36	994	12,07	243,9	67,52
27/10/2017 11:00	1,367	220,4	13,21	994	12,24	252,2	66,96
27/10/2017 11:10	1,082	196,7	26,04	994	12,36	258,7	68,37
27/10/2017 11:20	0,973	63,85	20,67	994	12,67	242	66,4
27/10/2017 11:30	1,003	218,7	20,44	994	13,15	330	65,05
27/10/2017 11:40	1,012	262,2	22,56	994	14,02	343,3	62,45
27/10/2017 11:50	0,88	273,8	24,45	994	14,59	351,2	58,27
27/10/2017 12:00	1,961	211,7	14,04	994	14,87	398	57,66
27/10/2017 12:10	0,92	183,2	52,99	994	15,54	394	55,33
27/10/2017 12:20	0,707	220,4	42,72	993	16,19	363,9	53,88
27/10/2017 12:30	0,817	222,2	28,47	993	16,49	386,1	54,81
media sul periodo	1,126	216,9	23,65	994	13,03	296,1	65,52

Parametri meteorologici misurati dalla centralina durante il periodo delle misure di concentrazione (giorno 20/11/2017).

data	velocità vettoriale media vento (m/s)	direzione media vettoriale media vento °	deviazione standard direzione vento °	pressione media (mbar)	temperatura media (°C)	radiazione globale dall'alto media (W/mq)	umidità relativa media (%)
condizioni generali osservate: tempo sereno							
20/11/2017 10:00	0,432	33,26	33,24	999	4,167	225,3	100
20/11/2017 10:10	0,71	136,2	35,77	999	4,756	257,1	98,1
20/11/2017 10:20	0,872	184,4	21,6	999	5,282	287,9	93,3
20/11/2017 10:30	0,8	195,4	29,02	998	5,754	298,3	90,3
20/11/2017 10:40	0,56	167,8	31,74	998	6,331	311,6	88
20/11/2017 10:50	0,68	121,3	22,87	998	6,916	325,9	86,4
20/11/2017 11:00	0,248	113	57,2	998	7,39	328	85
20/11/2017 11:10	0,113	111,2	66,56	998	8,19	337,3	83,9
20/11/2017 11:20	0,581	73,92	34,53	998	7,839	349,8	82,1
20/11/2017 11:30	0,333	93,6	45,66	998	8,53	363,6	80,5
20/11/2017 11:40	0,407	34,87	50	998	8,81	373,4	78,27
20/11/2017 11:50	0,476	179,7	48,61	998	9,6	374,8	76,62
20/11/2017 12:00	0,455	194,9	33,5	998	10,21	378	72,28
20/11/2017 12:10	0,089	123,4	71,72	998	10,86	383,7	68,59
20/11/2017 12:20	0,935	29,02	17,84	997	10,15	329	67,6
20/11/2017 12:30	0,873	44,56	20,49	997	10,23	392,1	67,59
media sul periodo	0,535	114,78	38,77	998	7,81	332,2	82,40
20/11/2017 15:30	1,864	21,35	13,03	996	12,3	138,8	60,14
20/11/2017 15:40	1,736	31,92	11,53	995	12,15	117,5	61,26
20/11/2017 15:50	2,076	41,04	13,69	996	11,96	75,79	64
20/11/2017 16:00	1,8	38,08	12,05	996	11,67	64,16	66,34
20/11/2017 16:10	2,255	31,58	10,66	995	11,44	64,51	67,49
20/11/2017 16:20	2,235	27,44	12,14	995	11,14	41,34	69,37
20/11/2017 16:30	2,317	28,68	10,44	995	10,76	23,28	71,56
20/11/2017 16:40	2,415	33,59	9,84	995	10,51	12,27	74,16
20/11/2017 16:50	1,957	21,57	10,17	995	10,16	5,497	76,45
20/11/2017 17:00	1,587	15,29	15,84	996	9,83	0,687	78,55
media sul periodo	2,024	29,05	11,93	995	11,19	54,38	68,93

Parametri meteorologici misurati dalla centralina durante il periodo delle misure di concentrazione (giorno 21/11/2017).

data	velocità vettoriale media vento (m/s)	direzione media vettoriale media vento °	deviazione standard direzione vento °	pressione media (mbar)	temperatura media (°C)	radiazione globale dall'alto media (W/mq)	umidità relativa media (%)
condizioni generali osservate: tempo sereno							
21/11/2017 10:00	0,608	232,3	30,01	997	5,523	242,3	92,9
21/11/2017 10:10	0,471	140,1	30,17	998	6,009	257,8	89
21/11/2017 10:20	1,114	160,8	31,58	997	6,137	272,8	86,1
21/11/2017 10:30	0,583	204,6	42,27	998	6,601	281,7	84,2
21/11/2017 10:40	0,483	207,9	33,55	998	7,227	296,4	82,1
21/11/2017 10:50	0,31	188,1	42,63	998	8,04	309,5	79,65
21/11/2017 11:00	0,499	167,8	34,09	998	8,81	327,4	75,6
21/11/2017 11:10	0,616	181,9	26,16	998	8,63	345,9	72,88
21/11/2017 11:20	0,496	226,1	26,77	998	9,25	355,3	72,78
21/11/2017 11:30	0,693	210,6	15,77	997	9,61	362,9	68,75
21/11/2017 11:40	0,781	198,2	18,52	997	10,11	373,3	65,35
21/11/2017 11:50	0,59	196,9	30,24	997	10,79	377,1	59,34
21/11/2017 12:00	0,951	213,9	21,44	997	11,09	381,7	54,67
21/11/2017 12:10	0,816	250,8	30,65	997	11,47	381,9	54,42
21/11/2017 12:20	0,959	259,3	18,88	997	11,6	331,2	52,53
21/11/2017 12:30	0,817	259	29,66	997	11,8	368,2	51,18
media sul periodo	0,674	206,14	28,89	997	8,91	329,0	71,34
21/11/2017 15:30	2,225	222,8	7,789	995	12,92	142,7	54,23
21/11/2017 15:40	1,67	224,9	8,79	995	13,03	136	54,18
21/11/2017 15:50	1,705	228,3	6,98	996	12,94	118,8	54,65
21/11/2017 16:00	1,464	233,3	11,07	996	12,87	100,7	55,77
21/11/2017 16:10	1,69	236,4	7,647	995	12,7	80,4	56,16
21/11/2017 16:20	1,576	227,9	11,67	995	12,61	59,67	58,24
21/11/2017 16:30	1,248	228,4	13,82	995	12,45	33,81	59,21
21/11/2017 16:40	1,028	198,2	16,81	995	12,05	20,81	59,84
21/11/2017 16:50	1,206	171,3	7,963	995	11,36	8,37	67,12
21/11/2017 17:00	1,182	158,8	11,03	995	10,82	2,969	68,22
media sul periodo	1,053	215,45	21,31	996	11,42	243,19	59,83

Parametri meteorologici misurati dalla centralina durante il periodo delle misure di concentrazione (giorno 22/11/2017).

data	velocità vettoriale media vento (m/s)	direzione media vettoriale media vento °	deviazione standard direzione vento °	pressione media (mbar)	temperatura media (°C)	radiazione globale dall'alto media (W/mq)	umidità relativa media (%)
condizioni generali osservate: tempo sereno, leggera foschia							
22/11/2017 10:00	0,247	151,9	32,51	998	6,379	204,2	99,6
22/11/2017 10:10	0,531	159	24,46	999	6,725	216,4	96,9
22/11/2017 10:20	0,665	121,2	11,27	999	6,506	229	94,4
22/11/2017 10:30	0,42	113,8	21,99	999	6,975	281,7	94
22/11/2017 10:40	0,644	171,8	26,75	998	7,787	298,6	92,5
22/11/2017 10:50	0,833	171,5	18,31	999	7,873	280	89,4
22/11/2017 11:00	0,88	181,4	10,89	998	8,29	328	85,3
22/11/2017 11:10	0,937	192,3	21,75	998	8,71	309,6	83,2
22/11/2017 11:20	0,53	192,7	25,43	998	9,53	319,1	79,62
22/11/2017 11:30	0,622	175,9	24,63	998	10,11	357	76,3
22/11/2017 11:40	0,295	209	51,12	998	10,18	315,3	75,3
22/11/2017 11:50	0,544	180	24,6	998	10,55	308,9	72,63
22/11/2017 12:00	0,633	195,6	23,97	998	10,65	328,1	71,28
22/11/2017 12:10	0,298	194,1	57,2	998	11,26	353,3	69,51
22/11/2017 12:20	0,362	131,3	55,58	998	11,15	306,7	69,58
22/11/2017 12:30	0,603	57,12	35,32	998	11,26	336,6	68,9
media sul periodo	0,565	162,41	29,11	998	9,00	298,3	82,40

Parametri meteorologici misurati dalla centralina durante il periodo delle misure di concentrazione (giorno 23/11/2017).

data	velocità vettoriale media vento (m/s)	direzione media vettoriale media vento °	deviazione standard direzione vento °	pressione media (mbar)	temperatura media (°C)	radiazione globale dall'alto media (W/mq)	umidità relativa media (%)
condizioni generali osservate: cielo coperto							
23/11/2017 15:30	0,447	316,8	31,33	997	13,32	88	70,66
23/11/2017 15:40	0,532	176	24,21	997	13,27	72,55	70,57
23/11/2017 15:50	0,764	173,8	13,29	997	13,21	60,19	71,15
23/11/2017 16:00	0,743	167,7	14,19	997	13,13	47,82	71,38
23/11/2017 16:10	0,883	143,2	13,43	997	12,91	33,81	72,99
23/11/2017 16:20	0,919	153,2	10,04	997	12,79	24,59	72,86
23/11/2017 16:30	0,697	152,4	13,37	997	12,64	17,42	73,78
23/11/2017 16:40	0,596	168,9	15,41	997	12,18	8,37	77,09
23/11/2017 16:50	0,62	197,1	19,44	997	11,96	2,208	78,35
23/11/2017 17:00	0,723	91,6	18,89	997	11,29	0,221	79,31
media sul periodo	0,692	174,07	17,36	997	12,67	35,5	73,81

Parametri meteorologici misurati dalla centralina durante il periodo delle misure di concentrazione (giorno 24/11/2017).

data	velocità vettoriale media vento (m/s)	direzione media vettoriale media vento °	deviazione standard direzione vento °	pressione media (mbar)	temperatura media (°C)	radiazione globale dall'alto media (W/mq)	umidità relativa media (%)
condizioni generali osservate: cielo coperto							
24/11/2017 10:00	0,526	111,3	27,78	1000	6,334	126,3	100
24/11/2017 10:10	0,573	6,581	31,91	1000	6,705	142,5	100
24/11/2017 10:20	0,646	15,83	20,05	1000	6,882	141,3	100
24/11/2017 10:30	0,326	50,75	42,19	1000	7,253	161,4	99,5
24/11/2017 10:40	0,767	7,324	19,09	1000	7,518	122,3	97,4
24/11/2017 10:50	0,804	37,09	18,38	1000	7,617	137,4	95,3
24/11/2017 11:00	0,939	46,61	18,06	1000	7,697	91	93
24/11/2017 11:10	0,195	71,97	56,82	1000	7,982	129,3	93,5
24/11/2017 11:20	0,427	59,8	30,3	1000	8,47	195,6	91,5
24/11/2017 11:30	0,87	10,26	14,03	1000	8,56	197,8	89
24/11/2017 11:40	0,735	346,4	26,35	1000	8,91	214,7	86,9
24/11/2017 11:50	0,977	0,578	16,62	1000	9,08	194	82,8
24/11/2017 12:00	0,715	335,5	22,93	1000	9,16	110,3	83,4
24/11/2017 12:10	0,959	20,44	27,62	1000	9,15	101,7	86,1
24/11/2017 12:20	0,998	2,11	17,27	1000	9,05	103	86,8
24/11/2017 12:30	0,711	26,05	24,75	1000	9,17	116,6	85,9
media sul periodo	0,698	71,79	25,88	1000	8,10	142,8	91,94

Parametri meteorologici misurati dalla centralina durante il periodo delle misure di concentrazione
(giorno 10/05/2018)

data	velocità vettoriale media vento (m/s)	direzione media vettoriale media vento °	deviazione standard direzione vento °	pressione media (mbar)	temperatura media (°C)	radiazione globale dall'alto media (W/mq)	umidità relativa media (%)
10/05/2018 10:30	1.492	263.3	17.84	988	20.65	817	67.51
10/05/2018 10:40	0.645	327.3	31.64	989	20.62	828	65.67
10/05/2018 10:50	0.813	214.5	35.69	989	21.13	848	63.31
10/05/2018 11:00	0.742	232.9	49.45	989	21.14	866	63.25
10/05/2018 11:10	0.671	158.7	46.12	989	21.24	880	62.45
10/05/2018 11:20	0.585	225.7	42.09	989	21.41	892	63.02
10/05/2018 11:30	0.72	286.9	40.51	989	21.65	871	62.5
10/05/2018 11:40	1.068	60.29	41.22	989	21.46	653.1	62.98
10/05/2018 11:50	0.984	76.09	49.38	989	21.11	499.9	62.75
10/05/2018 12:00	0.733	267.7	48.73	989	21.64	902	59.81
10/05/2018 12:10	0.975	207.8	29.67	989	22.2	813	57.72
10/05/2018 12:20	0.786	220.7	35.15	989	22.08	592.4	57.18
10/05/2018 12:30	1.068	202.3	24.76	989	22.03	546.2	58.16
10/05/2018 12:40	0.766	141.1	26.81	989	21.96	548.7	56.12
media sul periodo	0.861	206.1	37.08	989	21.45	754.1	61.60

Parametri meteorologici misurati dalla centralina durante il periodo delle misure di concentrazione
(giorno 15/05/2018)

data	velocità vettoriale media vento (m/s)	direzione media vettoriale media vento °	deviazione standard direzione vento °	pressione media (mbar)	temperatura media (°C)	radiazione globale dall'alto media (W/mq)	umidità relativa media (%)
15/05/2018 11:30	2.237	154	30.42	986	18.02	917	47.45
15/05/2018 11:40	1.879	136.4	31.14	987	18.13	944	45.72
15/05/2018 11:50	1.996	120	25.74	987	18.4	958	43.85
15/05/2018 12:00	2.262	93.2	33.69	987	18.27	795.2	42.3
15/05/2018 12:10	2.337	108.7	20.35	987	18.32	942	41.92
15/05/2018 12:20	1.845	133.9	27.16	987	18.55	906	43.45
15/05/2018 12:30	2.188	170.5	23.92	987	18.94	942	41.35
15/05/2018 12:40	1.57	188.8	29.75	987	19.01	943	40.27
15/05/2018 12:50	1.119	177.5	34.42	986	19.93	939	40.63
15/05/2018 13:00	1.245	209.5	37.39	986	19.58	946	41.5
15/05/2018 13:10	0.71	258.9	54.66	986	19.96	954	41.45
15/05/2018 13:20	2.14	95.6	23.59	986	19.66	879	40.68
15/05/2018 13:30	1.764	98.6	23.66	986	19.47	872	41.76
15/05/2018 13:40	0.364	90.6	63.5	986	20.15	863	40.68
15/05/2018 13:50	1.307	5.05	20.74	986	20.14	816	40.94
15/05/2018 14:00	1.827	54.24	22.94	986	20.13	916	41.56
15/05/2018 14:10	1.638	61.9	28.18	986	20.36	906	41.8
media sul periodo	1.672	126.9	31.25	986	19.24	908.1	42.19

Parametri meteorologici misurati dalla centralina durante il periodo delle misure di concentrazione
(giorno 16/05/2018)

data	velocità vettoriale media vento (m/s)	direzione media vettoriale media vento °	deviazione standard direzione vento °	pressione media (mbar)	temperatura media (°C)	radiazione globale dall'alto media (W/mq)	umidità relativa media (%)
16/05/2018 12:30	1.263	71.59	24.7	990	20.73	577.9	58.14
16/05/2018 12:40	1.258	118.4	35.9	990	21.25	787.3	57.18
16/05/2018 12:50	1.451	137.2	43.81	990	21.39	953	53.53
16/05/2018 13:00	2.779	193.6	11.5	990	21.35	996	54.15
16/05/2018 13:10	1.83	173.7	30.85	990	21.43	958	53.07
16/05/2018 13:20	0.971	118.5	46.03	989	21.73	833	51.79
16/05/2018 13:30	1.767	164.7	36.53	989	21.96	1011	52.11
16/05/2018 13:40	2.783	118.5	23.45	989	21.6	671	53.37
media sul periodo	1.763	137.0	31.60	990	21.43	848.4	54.17
16/05/2018 14:10	2.673	156	24.12	989	21.91	549.3	50.57
16/05/2018 14:20	1.396	125.1	41.84	989	21.53	259	51.1
16/05/2018 14:30	1.563	102.5	25.11	989	21.45	256.9	51.3
16/05/2018 14:40	1.83	156	16.46	989	21.59	299.3	52.4
16/05/2018 14:50	1.29	132.1	18.66	989	21.55	213.8	51.46
16/05/2018 15:00	1.503	116.9	26.31	989	21.4	141.5	51.62
16/05/2018 15:10	1.241	72.18	17.25	989	21.32	76.14	52.39
16/05/2018 15:20	2.629	337.7	16.3	989	20.25	31.96	66.24
16/05/2018 15:30	2.266	348.9	18.67	989	17.87	25.76	87.5
16/05/2018 15:40	1.535	115	31.69	989	17.51	34.42	87.3
16/05/2018 15:50	3.029	91.4	11.66	989	17.4	46.19	75.02
16/05/2018 16:00	1.395	117	25.95	989	16.61	59.84	87.9
16/05/2018 16:10	2.547	120	17.14	989	16.01	90.4	84.7
16/05/2018 16:20	2.751	155.9	11.42	989	16.04	145.4	84.4
16/05/2018 16:30	1.996	150.6	15.99	989	16.3	221.6	84.6
16/05/2018 16:40	1.981	150.2	15.72	989	16.75	399	83
media sul periodo	1.977	153.0	20.89	989	19.09	178.2	68.84

Allegato IV

Risultati della campagna di misura dei giorni 20-24 novembre 2017

Data/ora	Id 1	Coord. UTMED50	Conc. NH ₃ (ppm)	Conc. VOC (ppb)	Conc. NH ₃ _outs (ppm) ²	Conc. VOC_outs (ppb) ²	Note
2017-11-20 10:00:00	1	'404817/4998378'	0	850	0	60	'dintorni - 10 passi'
2017-11-20 10:00:00	2	'404927/4998447'	0	57	0	3	
2017-11-20 10:00:00	3	'405372/4999053'	0	736	0	21	
2017-11-20 10:00:00	4	'404913/4998654'	25	10016	0	3	
2017-11-20 10:00:00	5	'405142/4999005'	15	99999	0	600	
2017-11-20 10:00:00	6	'405630/4999341'	0	11			
2017-11-20 16:30:00	1	'404817/4998332'	0	207	0	20	
2017-11-20 16:30:00	2	'404888/4998438'	0	83	0	10	
2017-11-20 16:30:00	3	'405366/4999051'	0	238	0	28	
2017-11-20 16:30:00	4	'404910/4998654'	17	13500	0	35	
2017-11-20 16:30:00	5	'405160/4998968'	3	45089	0	4	
2017-11-20 16:30:00	6	'405620/4999349'	0	12			
2017-11-21 10:00:00	1	'404811/4998339'	4	650	0	25	
2017-11-21 10:00:00	2	'404892/4998435'	0	63	0	2	
2017-11-21 10:00:00	3	'405375/4999048'	0	351	0	42	
2017-11-21 10:00:00	4	'404925/4998653'	7	3880	0	6	
2017-11-21 10:00:00	5	'405162/4998990'	6	10415	0	140	
2017-11-21 10:00:00	6	'405623/4999350'	0	5			
2017-11-21 16:00:00	1	'404842/4998318'	0	915	0	5	
2017-11-21 16:00:00	2	'404891/4998433'	0	139	0	51	
2017-11-21 16:00:00	3	'405372/4999055'	0	221	0	20	
2017-11-21 16:00:00	4	'404908/4998651'	3	16322	0	0	
2017-11-21 16:00:00	5	'405164/4998974'	18	99999	0	69	

Data/ora	Id ¹	Coord. UTMED50	Conc. NH ₃ (ppm)	Conc. VOC (ppb)	Conc. NH ₃ _outs (ppm) ²	Conc. VOC_outs (ppb) ²	Note
2017-11-21 16:00:00	6	'405635/4999338'	0	46			
2017-11-22 10:00:00	1	'404813/4998332'	0	1284	0	2	
2017-11-22 10:00:00	2	'404887/4998433'	0	130	0	5	
2017-11-22 10:00:00	3	'405366/4999045'	0	656	0	8	
2017-11-22 10:00:00	4	'404916/4998660'	7	6675	0	10	
2017-11-22 10:00:00	5	'405142/4999010'	15	92250	0	23	
2017-11-22 10:00:00	6	'405631/4999335'	0	3			
2017-11-23 16:00:00	1	'404828/4998325'	0	2223	0	0	
2017-11-23 16:00:00	2	'404888/4998428'	0	433	0	578	
2017-11-23 16:00:00	3	'405369/4999053'	0	316	0	30	
2017-11-23 16:00:00	4	'404920/4998647'	29	10881	0	0	
2017-11-23 16:00:00	5	'405168/4998972'	32	99999	0	51	
2017-11-23 16:00:00	6	'405626/4999346'	0	90			
2017-11-24 10:30:00	1	'404813/4998340'	0	668	0	1	
2017-11-24 10:30:00	2	'404885/4998432'	0	53	0	29	
2017-11-24 10:30:00	3	'405372/4999055'	0	883	0	80	
2017-11-24 10:30:00	4	'404911/4998661'	11	10113	0	0	
2017-11-24 10:30:00	5	'405165/4998999'	16	99999	0	120	
2017-11-24 10:30:00	6	'405626/4999331'	0	137			

NOTE: 1: Significato Id:

- 1 Ingresso impianto
- 2 Dissabbiatura
- 3 Sedimentazione primaria (Modulo 4)
- 4 Pre-ispessimento (Tombino di ricircolo chiarificato)
- 5 Essiccatore fanghi (Zona carico camion)
- 6 Piazzale deposito

2: Concentrazione misurata nei dintorni della sorgente (a circa 5 metri di distanza)

Allegato V

Risultati della campagna di misura di H₂S e di speciazione dei VOC condotta da ditta esterna

"N ACCETTAZIONE3"	136562	136563	136564	136565	136566	136567
"DATA CAMPIONAMENTO"	08/03/2018	08/03/2018	08/03/2018	08/03/2018	08/03/2018	08/03/2018
"DATA ARRIVO"	09/03/2018	09/03/2018	09/03/2018	09/03/2018	09/03/2018	09/03/2018
"ETICHETTA"	P.to 1 - Ingresso depuratore Grigliatura	P.to 2 - Dissabbiatura	P.to 3 - Sedimentazione primaria	P.to 4 - Piazzale Deposito Fanghi	P.to 5 - Essiccamento Fanghi	P.to 6 - Post Ispessimento
Idrogeno solforato @ µg/m ³ µg/m ³	< 0,0556	1.2	16	< 0,0741	< 0,0556	< 0,0741
Acidi organici µg/m ³						
(Acido Formico) µg/m ³	0	0	0	0	0	0
(Acido Acetico) µg/m ³	0	0	0	0	0	0
(Acido Propionico) µg/m ³	1.87	2.37	1.46	14.5	0	6.17
(Acido Butirrico) µg/m ³	0	0	0	0	0	0
Composti carbonilici µg/m ³						
(Acetone@µg/m ³) µg/m ³	10	13	8.3	11	14	7.9
(Formaldeide@µg/m ³) µg/m ³	3	4.9	2.9	3.9	4.9	3.2
(Acetaldeide@µg/m ³) µg/m ³	3.1	3.9	3.1	3.4	3.8	2.6
(Acroleina@µg/m ³) µg/m ³	< 0,694	< 0,694	< 0,694	< 0,926	< 0,694	< 0,926
(Propionaldeide@µg/m ³) µg/m ³	0.74	1.1	0.84	0.95	0.76	0.6
(Crotonaldeide@µg/m ³) µg/m ³	1.5	1.9	1.5	1.7	1.4	1.4
(Butirraldeide@µg/m ³) µg/m ³	1.5	1.9	1.4	1.9	2.4	1.4
(Benzaldeide@µg/m ³) µg/m ³	1.2	1.3	1.4	1.6	1.2	1.4
(Isovaleraldeide@µg/m ³) µg/m ³	< 0,694	< 0,694	< 0,694	< 0,926	< 0,694	< 0,926
(Valeraldeide@µg/m ³) µg/m ³	< 0,694	< 0,694	< 0,694	< 0,926	< 0,694	< 0,926
(o-Tolualdeide@µg/m ³) µg/m ³	< 0,694	< 0,694	< 0,694	< 0,926	< 0,694	< 0,926
(m+p-Tolualdeide@µg/m ³) µg/m ³	< 0,694	< 0,694	< 0,694	< 0,926	< 0,694	< 0,926
(Esaldeide@µg/m ³) µg/m ³	< 0,694	< 0,694	< 0,694	< 0,926	< 0,694	< 0,926
(2,5-dimetilbenzaldeide@µg/m ³) µg/m ³	< 0,694	< 0,694	< 0,694	< 0,926	< 0,694	< 0,926
Composti organici volatili						
limite di rilevabilità ug/m ³	0.05					
(Composti organoalogenati alifatici:)						
(- 1,1-dicloroetilene) µg/m ³	0.068	0.015	0.015	0.012	0.015	0.051
(- 1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoroetano (Freon 113)) µg/m ³	1.655	1.185	1.137	0.608	0.827	9.445
(- diclorometano) µg/m ³	4.33	0.247	2.507	0.374	3.125	8.457
(- trans-1,2-dicloroetilene) µg/m ³	0.22	0.07	0.041	0.195	0.024	0.09
(- 1,1-dicloroetano) µg/m ³	0.03	0.017	0.014	0.012	0.011	0.019
(- cis-1,2-dicloroetilene) µg/m ³	0.287	0.097	0.068	0.535	0.077	0.152
(- bromoclorometano) µg/m ³	0.027	0.014	0.016	0.009	0.016	0.041

(- triclorometano (Cloroformio)) µg/m ³	2.366	0.615	0.595	0.571	0.446	2.887
(- 1,1,1-tricloroetano) µg/m ³	0.101	0.04	0.036	0.024	0.026	0.604
(- 1-propene-1,1-dicloro) µg/m ³	0	0.02	0.018	0.019	0.025	0.003
(- carbonio tetracloruro) µg/m ³	1.421	0.957	0.76	0.453	0.67	1.86
(- 1,2-dicloroetano) µg/m ³	0.234	0.167	0.147	0.113	0.111	0.652
(- tricloroetilene) µg/m ³	0.372	0.132	0.083	0.042	0.033	0.475
(- 1,2-dicloropropano) µg/m ³	0.354	0.167	0.119	0.055	0.063	2.562
(- dibromometano) µg/m ³	0.037	0.033	0.031	0.018	0.024	0.055
(- bromodiclorometano) µg/m ³	0.126	0.045	0.026	0.01	0.015	0.145
(- cis-1-propene-1,3-dicloro) µg/m ³	0.01	0.009	0.01	0.009	0.01	0.019
(- trans-1-propene-1,3-dicloro) µg/m ³	0.014	0.011	0.014	0.01	0.013	0.011
(- 1,1,2-tricloroetano) µg/m ³	0.023	0.017	0.018	0.014	0.016	0.113
(- tetracloroetilene) µg/m ³	6.631	2.117	1.366	1.511	1.687	3.058
(- 1,3-dicloropropano) µg/m ³	0.015	0.015	0.018	0.015	0.016	0.044
(- dibromoclorometano) µg/m ³	0.063	0.028	0.016	0.01	0.013	0.068
(- 1,2-dibromoetano) µg/m ³	0.012	0.011	0.012	0.01	0.015	0.061
(- 1,1,1,2-tetracloroetano) µg/m ³	0.027	0.035	0.029	0.011	0.033	0.035
(- tribromometano) µg/m ³	0.065	0.058	0.039	0.039	0.041	0.403
(- 1,1,2,2-tetracloroetano) µg/m ³	0.037	0.032	0.025	0.022	0.072	0.114
(- 1,2,3-tricloropropano) µg/m ³	0.051	0.042	0.033	0.029	0.033	0.023
(- pentacloroetano) µg/m ³	0.002	0.001	0.004	0.001	0.006	0.002
(- esacloroetano) µg/m ³	0.011	0.01	0.01	0.008	0.012	0.037
(- 1,2-dibromo-3-cloropropano) µg/m ³	0.038	0.024	0.032	0.024	0.032	0.038
(- esaclorobutadiene) µg/m ³	0.157	0.152	0.12	0.102	0.092	0.086
(Composti aromatici:)						
(- benzene) µg/m ³	2.685	1.928	1.665	0.897	1.223	5.616
(- toluene) µg/m ³	8.559	8.617	5.32	1.681	1.577	12.369
(- etilbenzene) µg/m ³	1.316	0.596	0.208	0.239	0.397	5.242
(- m+p-xilene) µg/m ³	3.686	1.74	0.706	0.664	0.865	10.086
(- o-xilene) µg/m ³	1.594	0.781	0.273	0.268	0.333	4.55
(- stirene) µg/m ³	0.314	0.192	0.156	0.099	0.642	0.265
(- isopropilbenzene) µg/m ³	0.312	0.218	0.139	0.108	0.093	0.492
(- n-propilbenzene) µg/m ³	0.372	0.27	0.229	0.174	0.17	0.962
(- 1,3,5-trimetilbenzene) µg/m ³	0.343	0.243	0.249	0.166	0.141	1.028
(- ter-butilbenzene) µg/m ³	0.212	0.18	0.159	0.118	0.103	0.568
(- 1,2,4-trimetilbenzene) µg/m ³	0.773	0.545	0.523	0.298	0.321	3.653
(- sec-butilbenzene) µg/m ³	0.878	0.676	0.322	0.473	0.511	6.158
(- 1,2,3-trimetilbenzene) µg/m ³	0.308	0.262	0.277	0.175	0.17	1.037
(- n-butilbenzene) µg/m ³	0.189	0.168	0.149	0.135	0.149	0.354
(- naftalene) µg/m ³	0.345	0.319	0.25	0.171	0.272	0.929
(Composti alifatici lineari e ramificati:)						
(- cicloesano) µg/m ³	0.998	0.305	0.233	0.357	0.447	4.677
(- metilcicloesano) µg/m ³	1.112	0.209	0.171	0.079	0.195	1.597
(- metilmetacrilato) µg/m ³	0.36	0.26	0.155	0.102	0.109	0.126
(- esano) µg/m ³	2.914	0.689	1.479	1.902	3.467	5.783
(- eptano) µg/m ³	2.805	0.626	9.19	1.448	10.768	2.755
(- ottano) µg/m ³	2.135	0.371	0.049	0.095	0.109	0.996
(- nonano) µg/m ³	0.337	0.371	0.26	0.294	0.404	2.622
(- decano) µg/m ³	0.726	0.725	0.337	0.354	1.97	3.854
(- undecano) µg/m ³	0.727	0.996	0.699	0.297	3.792	2.822
(- dodecano) µg/m ³	0.7	1.38	0.319	0.345	4.963	2.835
(Clorobenzeni e bromobenzeni:)						
(- clorobenzene) µg/m ³	0.037	0.021	0.018	0.021	0.023	0.105

(- bromobenzene) µg/m3	0.408	0.32	0.258	0.222	0.234	1.196
(- 1,3-diclorobenzene) µg/m3	0.18	0.139	0.316	0.065	0.046	0.344
(- 1,4-diclorobenzene) µg/m3	0.168	0.132	0.365	0.075	0.065	0.397
(- 1,2-diclorobenzene) µg/m3	0.173	0.138	0.101	0.064	0.05	0.048
(- 1,3,5-triclorobenzene) µg/m3	0.14	0.149	0.152	0.133	0.126	0.107
(- 1,2,4-triclorobenzene) µg/m3	0.198	0.198	0.217	0.183	0.265	0.214
(- 1,2,3-triclorobenzene) µg/m3	0.104	0.086	0.096	0.084	0.29	0.029
(- 2-clorotoluene) µg/m3	0.193	0.137	0.085	0.053	0.044	0.136
(- 4-clorotoluene) µg/m3	0.132	0.096	0.07	0.066	0.045	0.034
(Alcooli alifatici:)						
(- etanolo) µg/m3	0.111	1.443	1.238	1.297	1.576	2.261
(- 2-butanolo) µg/m3	0.137	0.108	0.192	0.098	0.264	1.889
(- 1-butanolo) µg/m3	1.58	0.195	0.247	0.152	0.246	0.766
(- 1-metossi-2-propanolo) µg/m3	2.03	0.456	2.778	0.629	3.051	1.957
(Esteri, eteri e chetoni alifatici:)						
(- metil ter butil etere (MtBE)) µg/m3	0.89	0.405	0.419	0.109	0.098	2.344
(- metile acetato) µg/m3	1.211	1.448	0.687	1.6	2.115	6.212
(- metiletilchetone (MEK)) µg/m3	2.137	1.367	1.438	1.242	1.391	11.523
(- etil acetato) µg/m3	1.621	1.069	0.946	2.19	2.441	7.169
(- isobutilchetone (MIBK)) µg/m3	0.333	0.13	0.044	0.045	0.161	1.374
(- isobutil acetato) µg/m3	1.222	0.214	0.028	0.054	0.064	0.586
(- n-butilacetato) µg/m3	1.55	0.566	0.073	0.202	0.281	2.115
(- metil butirrato) µg/m3	0.241	0.618	0.052	0.505	0.312	0.647
(- etilbutirrato) µg/m3	0.198	0.073	0.035	0.068	0.032	1.808
(Terpeni alifatici ed aromatici:)						
(- alfa-pinene) µg/m3	0.14	0.131	0.018	0.382	0.215	0.467
(- canfene) µg/m3	0.336	0.096	0.124	0.093	0.132	0.465
(- beta-pinene) µg/m3	0.022	0.055	0.004	0.08	0.056	0.05
(- carene) µg/m3	0.045	0.043	0.025	0.105	0.053	0.219
(- limonene) µg/m3	5.46	6.95	1.34	7.44	3.06	1.82
(- 4-isopropiltoluene) µg/m3	0.503	0.566	0.264	0.685	0.35	2.01
(- 3-isopropiltoluene) µg/m3	0.444	0.504	0.232	0.611	0.308	1.899
(- 2-isopropiltoluene) µg/m3	0.076	0.053	0.077	0.001	0.037	0.516
(- canfora) µg/m3	0.076	0.146	0.014	0.101	0.608	0.807
(- etil benzoato) µg/m3	0.001	0.007	0.002	0.004	0.006	0.059
(- borneolo) µg/m3	0.038	0.048	0.004	0.014	0.672	0.069
(Silossani:)						
(- esametilendisilossano) µg/m3	0.077	0.015	0.137	0.081	0.018	0.206
(Solfuri organici:)						
(- dimetil disolfuro) µg/m3	0.285	0.248	0.17	0.145	1.728	0.22
(- dimetil trisolfuro) µg/m3	0.184	0.183	0.046	0.018	0.301	0.058
(Composti fenolici:)						
(- fenolo) µg/m3	1.516	0.943	0.396	0.801	0.599	21.869

Allegato VI

Modello micrometeorologico

```

clear all; close all;

t1=datetime(2017,11,20,0,0,0);
t2=datetime(2017,11,20,23,50,0);
temp=t1:minutes(10):t2;
ora=hour(temp);
sz=size(ora,2);

mis=xlsread('2017_11_20 .xls');
u0=mis(:,2); %wind speed m/s
p00=mis(:,6); %pressure (mbar)
tempc0=mis(:,8); %temperature °C
T0=tempc0+273.15; %temperature K
Qsw0=mis(:,10); %solar radiation W/m2
um0=mis(:,12); %RH %
prec0=mis(:,14); %rain mm
u=u0';
p=p00';
tempc=tempc0';
T=T0';
Qsw=Qsw0';
um=um0';
prec=prec0';

z0=(1+0.25)*0.5; %surface roughness lenght
A=(0.18+0.15)*0.5; %albedo
B=(1.5+1)*0.5; %Bowen ratio
Qf=0; %anthropogenic heat flux
cg=(0.25+0.15)*0.5; %soil heat flux
z=10; %height of measurement
p0=1000; %reference pressure 1000 mbar
ra=287.05; %J/kg/k constant gas dry air
rv=461.495; %costante gas vapore
N=0; %sky cover fraction (%sky covered by clouds)
%hmix=150; %hmix initial
k=0.4; %Von Karman constant
cp=996; %m2/s2K specific heat air
g=9.81; %gravity acc m/s2
f=1e-4; %coriolis s-1
zm=z; %height of measurement
nua=1.5e-5; %m2/s

for i=1:sz
    pv(i)=6.11*(10.^((7.5.*tempc(i))./(237.7+tempc(i))));
    pa(i)=p(i)-pv(i);
    rho_v(i)=(pv(i)*100)./(rv.*T(i));
    rho_a(i)=(pa(i)*100)./(ra.*T(i)); %kg/m3 dry air
    rho(i)=rho_a(i)+rho_v(i); %air density (using p and T)
    teta(i)=T(i)*((p0/p(i))^0.286); % potential temperature
    beta(i)=g/teta(i);

% ----- IF : NOTTE -----
if (ora(i)<7) || (ora(i)>18)
% -----

%%% se le condizioni sono stabili NIGHT TIME preso da manuale CALMET %%%

```

```

%the following constants are suggested by Holtslag and Van Ulden (1983)
c1=5.31e-13; %W/m2/K6
c2=60; %W/m2
c3=0.12; %[-]
sigma=5.67e-8; %costante stefan-boltzmann

Qstar(i)=(((1-A)*Qsw(i))+(c1*T(i)^6)-(sigma*T(i)^4)+(c2*N))/(1+c3); %net
radiation %pag 46
Qh(i)=(B/(1+B))*(Qstar(i)*(1-cg)+Qf);
Qg=cg*Qstar; % flux of heat into the soil

L1=-100;
L2=0;
deltaL=abs(L1-L2);
j=1;
while (deltaL>1e-3 && j < 20 ); %procedure repeated until convergence
    psim_z = -5*z/L1;
    psim_z0 = -5*z0/L1;

    j=j+1; %number of iterations

    ust=(k*u(i))/(log(z/z0)-psim_z+psim_z0);

    %Monin-Obukhov lenght
    L2=(-(rho(i)*cp*T(i)*(ust^3)))/(k*g*Qh(i));
    deltaL=abs(L1-L2);
    L1=L2;
end
L(i)=L2;
ustar(i)=ust;
hmix(i)=(L(i)/3.8)*(-1+sqrt(1+2.28*ustar(i)/(f*L(i)))); %SIRANE
%hmix(i)=0.34*(((ustar(i)*L(i))/f))^0.5+113.5; %Arya2 (1981)
%hmix(i)=113+0.34*((L(i)*ustar(i))/f)^0.5;
if hmix(i)<150
    hmix(i)=150;
end

ws1(i)=0;
ws2(i)=0;
ws3(i)=0;
wstar(i)=0;
deltah(i)=0;
deltateta(i)=0;

%parametri posti a zero per completezza ma non servono

% ----- ELSEIF : GIORNO -----
elseif 6<ora(i)<19
% -----

%%% se le condizioni sono instabili - DAYTIME %vedi CALMET pag 47 %%%

%the following constants are suggested by Holtslag and Van Ulden (1983)
c1=5.31e-13; %W/m2/K6
c2=60; %W/m2
c3=0.12; %[-]
sigma=5.67e-8; %costante stefan-boltzmann

```

```

Qstar(i)=(((1-A)*Qsw(i))+(c1*T(i)^6)-(sigma*T(i)^4)+(c2*N))/(1+c3); %net
radiation %pag 46
Qh(i)=(B/(1+B))*(Qstar(i)*(1-cg)+Qf);
Qg=cg*Qstar; % flux of heat into the soil

%initial guess: neutral conditions (L=infinite)
L1=1e10;
L2=0;
deltaL=L1-L2;
j=1;
while (deltaL>1e-3 && j < 20 ); %procedure repeated until convergence
    if L1 < 0
        x_z=(1-(16*(z/L1)))^(0.25); %similarity function (DYER 1974) (vedi
pag 36 manuale CALMET)
        x_z0=(1-(16*(z0/L1)))^(0.25);
        psim_z=2*log((1+x_z)/2)+log((1+x_z^2)/2)-2*atan(x_z)+pi/2;
        psim_z0=2*log((1+x_z0)/2)+log((1+x_z0^2)/2)-2*atan(x_z0)+pi/2;
    elseif L1 > 0
        psim_z = -5*z/L1;
        psim_z0 = -5*z0/L1;
    end

    j=j+1; %number of iterations

    ust=(k*u(i))/(log(z/z0)-psim_z+psim_z0);

    %Monin-Obukhov lenght
    L2=(-(rho(i)*cp*T(i)*(ust^3)))/(k*g*Qh(i));
    deltaL=abs(L1-L2);
    L1=L2;
end

L(i)=L2;
ustar(i)=ust;

if L1>0.01
    ustar(i)=ust;
    hmix(i)=(L(i)/3.8)*(-1+sqrt(1+2.28*ustar(i)/(f*L(i))))); %SIRANE
    %hmix(i)=113+0.34*((L(i)*ustar(i))/f)^0.5;
    if hmix(i)<150
        hmix(i)=150;
    end
elseif L1<-0.01
    wstar(i)=ustar(i)*(hmix(i-1)/k)^(1/3)*(-(1/abs(L(i)))^(1/3));
    Res=ustar(i)*z0/nua;
    zT=z0*exp(-k*(6.2*Res^(1/4)-5));
    tetastar=-Qh(i)/(rho(i)*cp*ustar(i));
    teta0=teta(i)-(tetastar/k)*(log((z+zT)/zT)-psih((z+zT)/L(i)
)+psih(zT/L(i)));
    teta_z2=teta0+(tetastar/k)*(log((z+0.2+zT)/zT)-psih((z+0.2+zT)/L(i) ) +
psih(zT/L(i)));
    teta_z0=teta0+(tetastar/k)*(log((z-0.2+zT)/zT)-psih((z-0.2+zT)/L(i) ) +
psih(zT/L(i)));
    gamma_ext=(teta_z2-teta_z0)/0.4;
    M=(1.4*wstar(i)^3+5*ustar(i)^3)/((g/T(i))*gamma_ext*hmix(i-1)^2);
    hmix(i)=M*(10*60)+hmix(i-1);
    %hmix(i)=-k*L(i)*(wstar(i)/ustar(i))^3;
    if hmix(i)<150

```

```

    hmix(i)=150;
end
else
    hmix(i)=0.3*ustar(i)/f; %Arya 1999
    %hmix(i)=0.185*ustar(i)/f;
    if hmix(i)<150
        hmix(i)=150;
    end
end

end
end
% ----- IF : TRANSIZIONE GIORNO-NOTTE -----
indexTrans = find( ora>15 & ora<18 ); % indici che rispettano la condiz
% -----
nInd      = length(indexTrans); % lunghezza dell'array che contiene gli
indici
inA      = indexTrans(1);      % primo indice della transizione
inB      = indexTrans(end);    % ultimo indice della transionze
hmix(indexTrans) = linspace(hmix(inA), hmix(inB), nInd); % passaggio da
hmix iniziale ad hmix finale attraverso nInd passi (assomiglierà ad una
retta)

figure(1)
plot(temp, hmix)
xlabel('Time')
ylabel('hmix [m]')

figure(2)
plot(temp, L)
xlabel('Time')
ylabel('L')

```

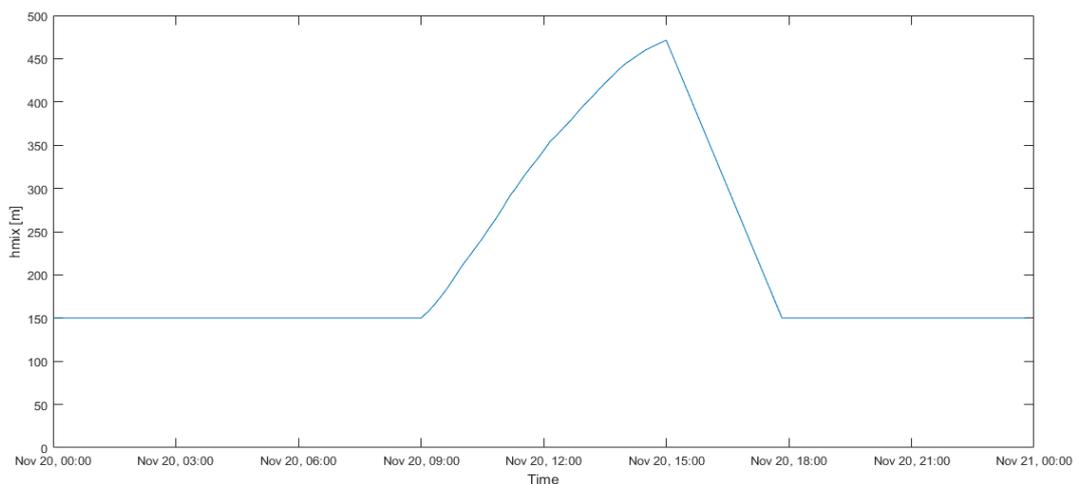


Figura 1A - Altezza di mescolamento calcolata durante la giornata del 20/11/17

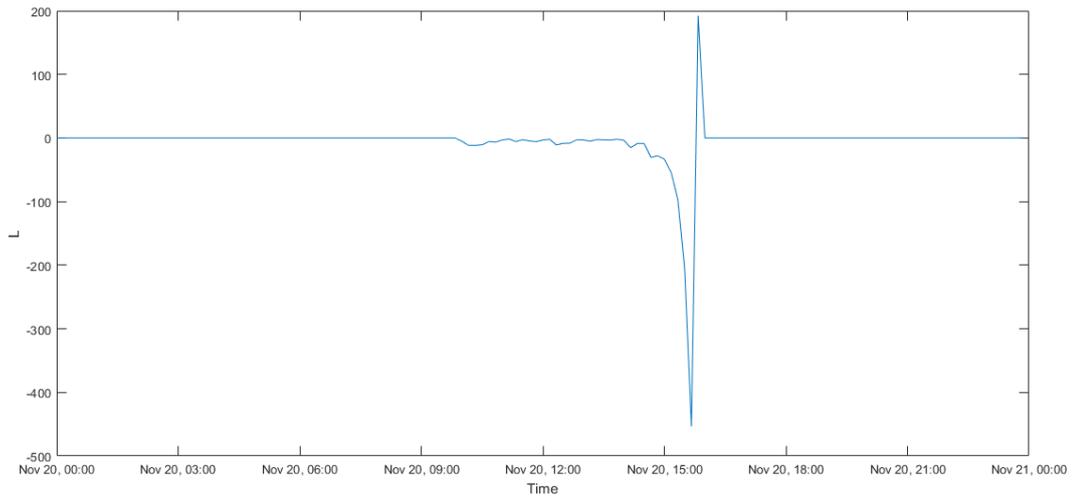


Figura 2A - Lunghezza di Monin-Obukhov calcolata durante la giornata del 20/11/17

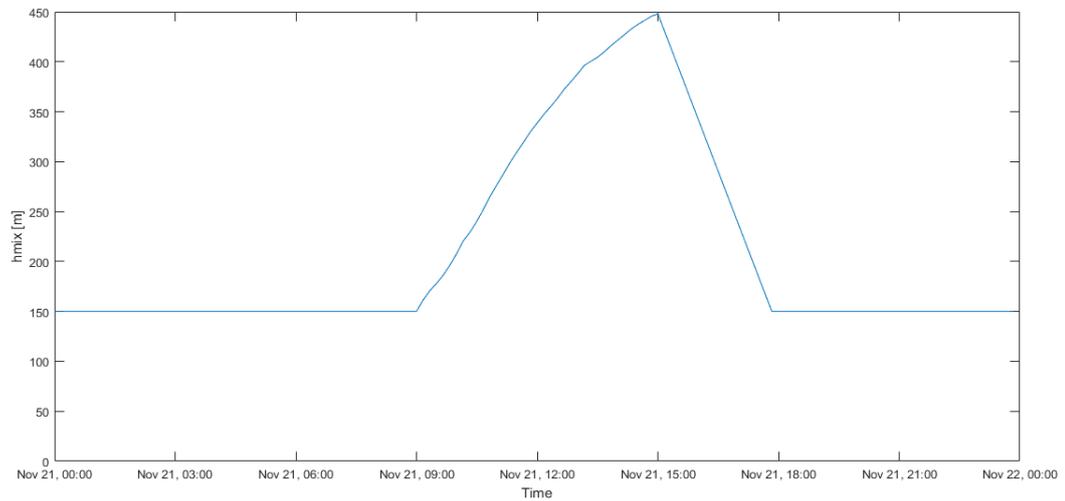


Figura 3A - Altezza di mescolamento calcolata durante la giornata del 21/11/17

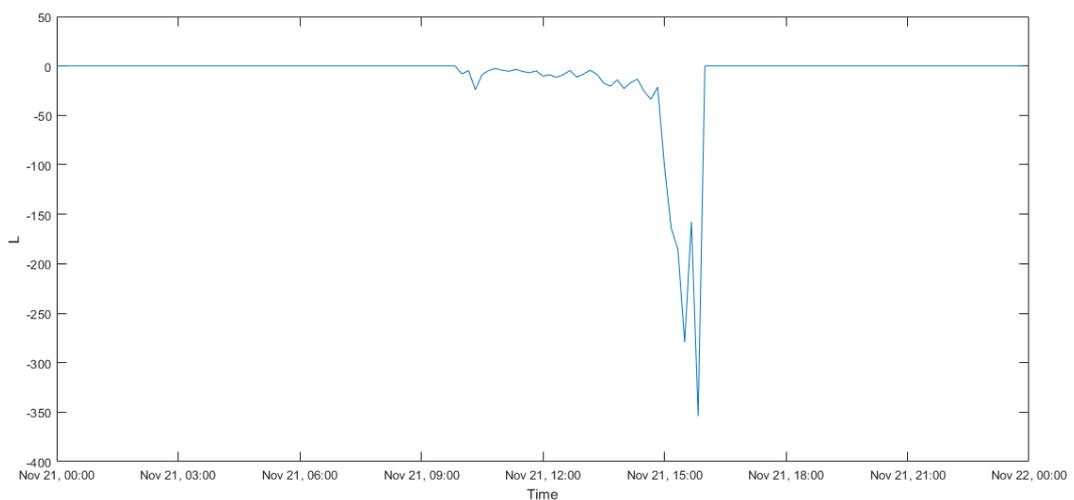


Figura 4A - Lunghezza di Monin-Obukhov calcolata durante la giornata del 21/11/17

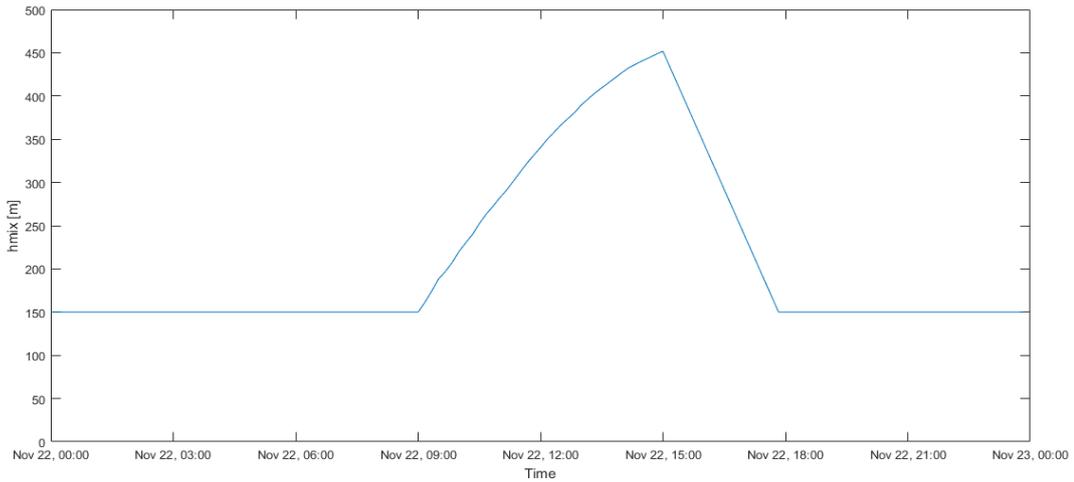


Figura 5A - Altezza di mescolamento calcolata durante la giornata del 22/11/17

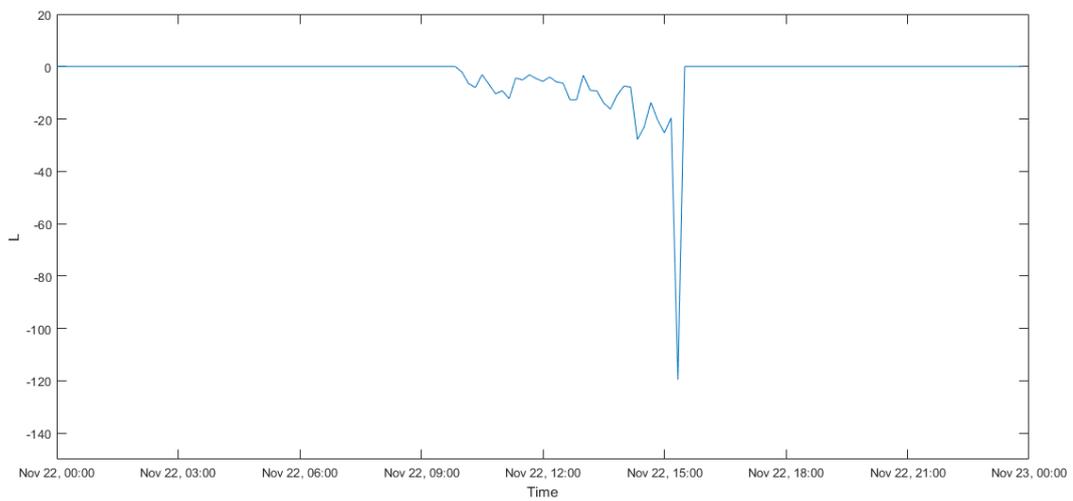


Figura 6A - Lunghezza di Monin-Obukhov calcolata durante la giornata del 22/11/17

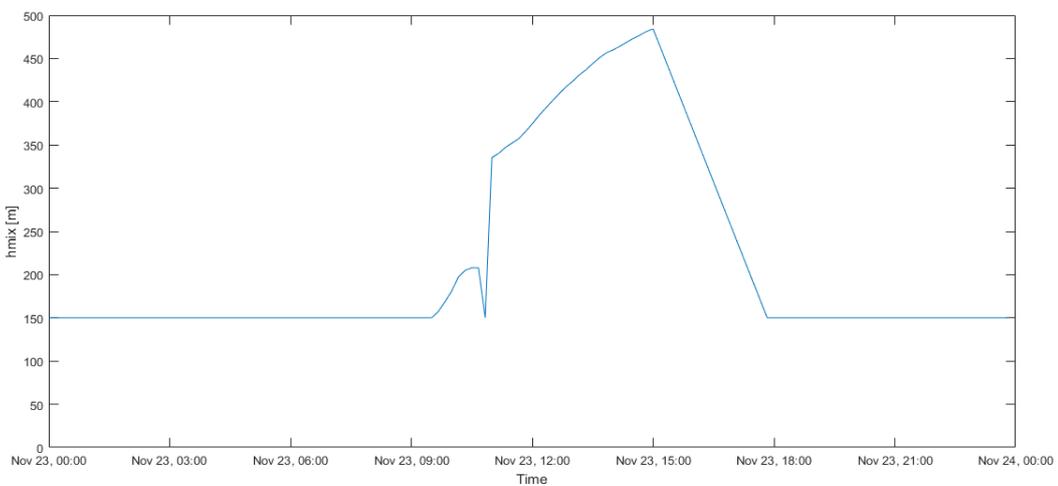


Figura 7A - Altezza di mescolamento calcolata durante la giornata del 23/11/17

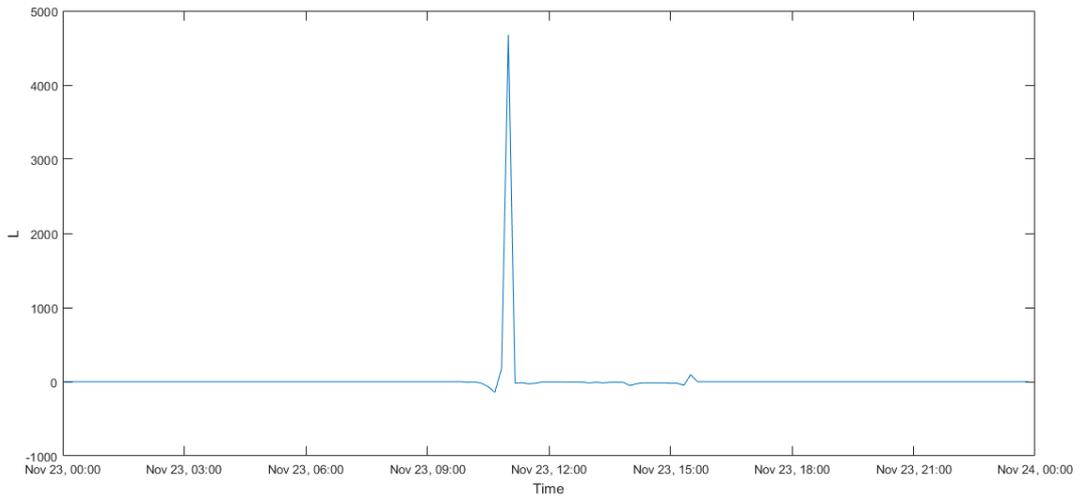


Figura 8A - Lunghezza di Monin-Obukhov calcolata durante la giornata del 23/11/17

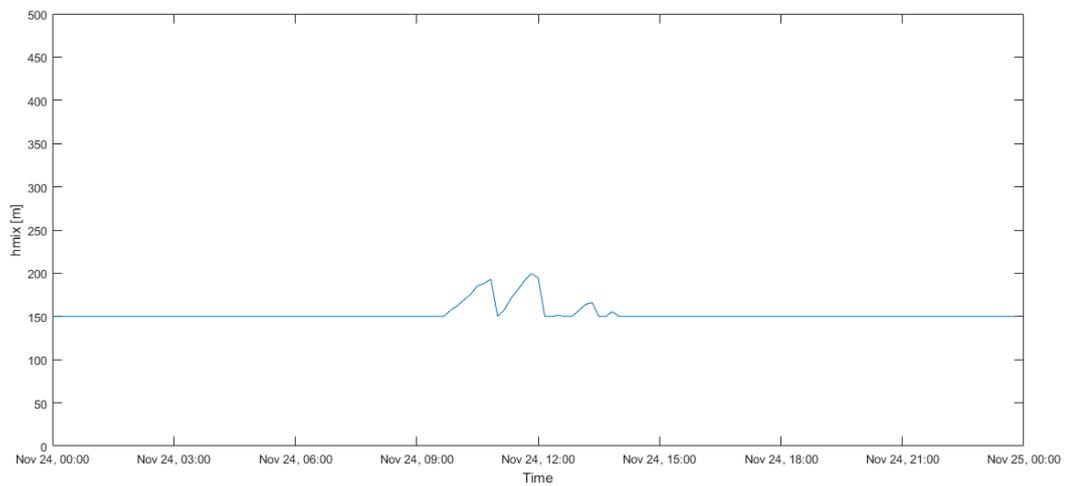


Figura 9A - Altezza di mescolamento calcolata durante la giornata del 24/11/17

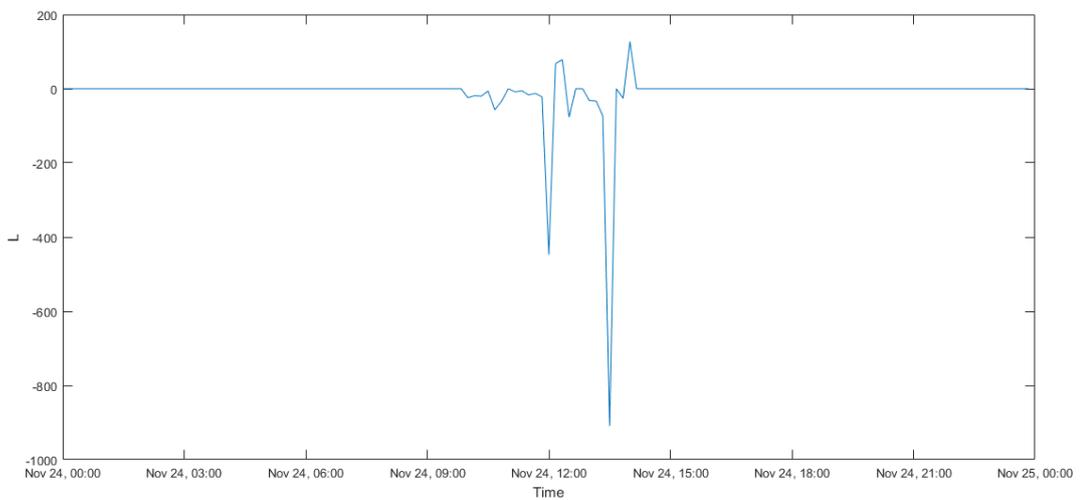


Figura 10A - Lunghezza di Monin-Obukhov calcolata durante la giornata del 24/11/17

BIBLIOGRAFIA

Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2018. *Toxic Substances Portal*. [Online] Disponibile al seguente link: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/index.asp> [Ultimo accesso 2 Luglio 2018].

American Industrial Hygiene Association, 2013. *Odor Thresholds for Chemicals with Established Health Standards*, s.l.: s.n.

APAT Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici, 2003. *La micrometeorologia e la dispersione degli inquinanti in aria*. Roma: Relazioni Esterne Arpalazio.

APAT, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, 2003. *Metodi di misura delle emissioni olfattive. Quadro normativo e campagne di misura..* s.l.:s.n.

Batchvarova, E. & Gryning, S.-E., 1991. Applied model for the growth of the daytime mixed layer.. *Boundary-Layer Meteorology*, Issue 56, pp. 261-274.

Brattoli, M. et al., 2011. Odour detection methods: olfactometry and chemical sensors. *Sensors*, pp. 5290-5322.

Businger, J., Wyngaard, J., Izumi, Y. & Bradley, E., 1971. Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. *Journal of Atmospheric Sciences* 28 (2), *Journal of Atmospheric Sciences* , 2(28), pp. 181-189.

Cancelli, C., Boffadossi, M. & Salizzoni, P., 2006. *Fluidodinamica ambientale. Turbolenza e dispersione*. Torino: Otto Editore.

Cao, X., 2011. Dispersion coefficients for Gaussian plume models. *Boundary-layer Meteorology*, Issue 139, pp. 487-500.

Capelli, L., 2011. Odour impact assessment in urban areas: case study of the city of Terni.. *Procedia Environmental Sciences*, Issue 4, pp. 151-157.

Capelli, L., Sironi, S., Del Rosso, R. & Centola, P., 2009. Predicting odour emissions from wastewater treatment plants by means od odour emissio factors. *Water Research*, Issue 43, pp. 1977-1985.

Capelli, L., Sironi, S., Del Rosso, R. & Guillot, J.-M., 2013. Measuring odours in the environment vs. dispersion modelling: A review. *Atmospheric Environment*, Issue 79, pp. 731-743.

- Caputo, M., 2003. Intercomparison of atmospheric dispersion models.. *Atmospheric Environment*, Issue 37, pp. 2435-2449.
- CERC, 2001. *ADMS-Urban User Guide.*, s.l.: Cambridge Environmental Research Consultants.
- D.G.R. n. IX/3018, 15/2/2012. *Determinazioni generali in merito alla caratterizzazione delle emissioni gassose derivanti da attività a forte impatto odorigeno e relativi allegati.*, s.l.: s.n.
- D.Lgs. n. 183, 15/11/2017. *Attuazione della direttiva (UE) 2015/2193 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 novembre 2015*, Parlamento Italiano: Gazzetta Ufficiale del 16/12/2017.
- D.Lgs. n.152, 03/04/2006. *Norme in materia ambientale*, Parlamento Italiano: Gazzetta Ufficiale n.88 del 14 aprile 2006.
- D.M. 29/01/2007, n.d. *Emanazione di linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili, in materia di allevamenti, macelli e trattamento di carcasse, per le attività elencate nell'allegato I del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59*, Parlamento Italiano: Gazzetta Ufficiale del 31/05/2007.
- De Melo Lisboa, H., 2006. Dispersion of odorous gases in the atmosphere - Part I: modeling approaches to the phenomenon.. *Science of the Total Environment*, Issue 361, pp. 220-228.
- Dincer, F. & Muezzinoglu, A., 2008. Odor-Causing Volatile Organic Compounds in Wastewater Treatment Plant Units and Sludge Management Areas. *J. Environ. Sci. Health*, Issue 43, pp. 1569-1574.
- EPA, 1995. ISC3. User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models. In: Description of Model Algorithms. *U.S. Environmental Protection Agency. Office of Air Quality Planning and Standards. Emissions, Monitoring, and Analysis Division, Research Triangle Park, North Carolina.*, Volume II.
- EPA, 2018. *U.S. Environmental Protection Agency.* [Online] Disponibile al seguente link: <https://www.epa.gov> [Ultimo accesso 1 Luglio 2018].
- Fisher, B. et al., 1998. *Harmonisation of the Preprocessing of Meteorological Data for Atmospheric Dispersion Models. COST Action 710 - Final report*, s.l.: s.n.
- Garratt, J., 1992. *The atmospheric boundary layer.*. Cambridge Atmospheric and Space Science Series. ed. s.l.:s.n.
- Gifford, F., 1959. Statistical properties of a fluctuating plume dispersion model.. *Advances in Geophysics*, Issue 6, pp. 117-137.

- Hayes, J., Stevenson, R. & Stuetz, R., 2017. Survey of odour impact on communities. *Journal of Environmental Management*, Issue 204, pp. 349-354.
- Holtslag, A. & Van Ulden, A., 1983. A simple scheme for daytime estimates of the surface fluxes from routine weather data.. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Issue 22, pp. 517-529.
- Hudson, N. A. G., 2008. Odour sampling 1: physical chemistry considerations.. *Bioresource Technology*, Issue 99, pp. 3982-3992.
- International Programme on Chemical Safety, n.d. *Chemical Safety Information from Intergovernmental Organizations*. [Online] Disponibile al seguente link: <http://www.inchem.org> [Ultimo accesso 3 Luglio 2018].
- Johansson, C. et al., 2001. Critical test of the validity of Monin-Obukhov similarity duuring convective conditions. *American Meteorological Society*, Volume 58, pp. 1549-1566.
- Jung, Y., 2003. Pollution dispersion analysis using the puff model with numerical flow field data. *Mechanics Research Communications*, Issue 30, pp. 277-286.
- Kumar A., V. I., 2007. Volatile organic compounds: sampling methods and their worldwide profile in ambient air. *Environ. Monit. Assess.*, Volume 131, pp. 301-321.
- Lagzi, I., 2004. Simulation of nuclear contamination using an adaptive Eulerian grid model. *Journal of Environmental Radioactivity*, Issue 75, pp. 59-82.
- Lawkowska, P., Cieslik, B., Dymerski, T. & Konieczka, P., 2016. Characteristics od odors emitted from municipal wastewater treatment plant and methods for their identification and deodorization techniques. *Environmental Research*, Issue 151, pp. 573-586.
- Legge 12 agosto 2016, n. 170 , n.d. *Delega al Governo per il recepimento delle direttive europee e l'attuazione di altri atti dell'Unione europea - Legge di delegazione europea 2015.*, Parlamento Italiano: Gazzetta Ufficiale del 01/09/2016.
- Lehtinen, J. a. V. A., 2011. Odour monitoring by combined TD-GC-MS-sniff technique and dynamic olfactometry at the wastewater treatment plant of low H₂S concentration,. *Water, Air and Soil Pollution* , Issue 218, pp. 185-196.
- Lena, F. & Desiato, F., 1999. Intercomparison of nocturnal mixing height estimate methods for urban air pollution modelling. *Atmospheric Environment*, Issue 33, pp. 2385-2393.

- Lewkowska, P. e. a., 2016. Characteristics of odor emitted from municipal wastewater treatment plant and methods for their identification and deodorization techniques. *Environmental Research*, Issue 151, pp. 573-586.
- Liang, H.-M. & Liao, C.-M., 2007. Modeling VOC-odor exposure risk in livestock buildings. *Chemosphere*, Issue 68, pp. 781-789.
- Liu, H. et al., 2012. Emission characteristics of nitrogen- and sulfur-containing odorous compounds during different sewage sludge chemical conditioning processes. *Journal of Hazardous Materials*, Issue 235-236, pp. 298-306.
- Mahin, T., 2001. Comparison of different approaches used to regulate odours around the world. *Water Science and Technology*, Issue 44, pp. 87-102.
- Maizi, A., 2010. CFD prediction of odorous compound dispersion: case study examining a full scale waste water treatment plant. *Biosystems Engineering*, Issue 106, pp. 68-78.
- McGinley, M. A. & McGinley, C. M., 2008. *Odor Threshold Emission Factors for Common WWTP Processes* [Interview] (6-9 aprile 2008).
- Nagata, Y. e. T. N., 1990. Measurement of Odor Threshold by Triangle Odor Bag Method. *Bulletin of Japan Environmental Sanitation Center*, pp. 77-89.
- Nguyen, K., 1997. Prediction of plume dispersion in complex terrain: Eulerian versus Lagrangian models.. *Atmospheric Environment*, Issue 31, pp. 947-958.
- Nieuwstadt, F. & Tennekes, H., 1981. A rate equation for the nocturnal boundary-layer height. *Journal of the atmospheric sciences*, Volume 38, pp. 1418-1428.
- Pasquill, F., 1961. The estimation of the dispersion of windborne material.. *Meteorological Magazine*, Issue 90, pp. 33-49.
- Pelosi, P., 1994. Odorant-binding proteins.. *Critical reviews in biochemistry and molecular biology*, 3(29), pp. 199-228.
- Pontiggia, M., 2009. Hazardous gas dispersion: a CFD model accounting for atmospheric stability classes.. *Journal of Hazardous Materials*, Issue 171, pp. 739-747.
- Qamaruz-Zaman, N. & Milke, M., 2012. VFA and ammonia from residential food waste as indicators of odor potential. *Waste Management*, Issue 32, pp. 2426-2430.
- Rabei, R. E., 2017. Modelling hourly atmospheric stability and mixing height using metrological surface data. *Journal of Engineering Sciences*, 45(4), p. 436 – 447.

- Regione Lombardia, 2010. *Linee Guida per la caratterizzazione, l'analisi e l'autorizzazione delle emissioni gassose in atmosfera delle attività ad impatto odorigeno*, s.l.: Linee guida di settore.
- Scire, J., Robe, F., Fernau, M. E. & Yamartino, R., 2000. *A User's Guide for the CALMET Meteorological Model*, s.l.: s.n.
- Seibert, P. et al., 2000. Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height. *Atmospheric environment*, Issue 34, pp. 1001-1027.
- Sekyiamah, K. et al., 2008. Identification of Seasonal Variations in Volatile Sulfur Compound Formation and Release from the Secondary Treatment System at a Large Wastewater Treatment Plant. *Water Environ. Res.*, Issue 80, pp. 2261-2267.
- Smith, R., 1995. A Gaussian model for estimating odour emissions from area sources.. *Mathematical and Computer Modelling*, Issue 21, pp. 23-29.
- Sohn, J., 2008. Characterisation of humidity dependence of a metal oxide semiconductor sensor array using partial least squares.. *Sensors and Actuators B: Chemical*, Issue 131, pp. 230-235.
- Thibodeaux, L., 1985. Air/Soil exchange coefficients.. In: *Neely, Brock, Blau, G.E. (Eds.), Environmental Exposure from Chemicals, vol I*. Boca Raton, FL: CRC Press, Inc..
- Thomson, D. M. A., 2001. Along-wind dispersion in light wind conditions.. *Boundary-layer Meteorology*, Issue 98, pp. 341-358.
- UNI EN 13725, 2004. *Qualità dell'aria: determinazione della concentrazione di odore mediante olfattometria dinamica*. s.l.:s.n.
- Vankatram, A., 2004. The role of meteorological inputs in estimating dispersion from surface releases.. *Atmospheric Environment*, Issue 38, pp. 2439-2446.
- Vera, L., Companioni, E., Meacham, A. & Gygas, H., 2016. Real time monitoring of VOC and odours based on GC-IMS at wastewater treatment plants. *Chemical Engineering Transactions*, Volume 54, pp. 79-84.
- Wagner, P. & Schäfer, K., 2017. Influence of mixing layer height on air pollutant concentrations in an urban street canyon. *Urban Climate*, Issue 22, pp. 64-79.
- Wang, T., Sattayatewa, C., Venkatesan, D. & Noll, K. E., 2011. Modeling indoor odor-odorant concentration and the relative humidity effect on odor perception at a water reclamation plant. *Atmospheric Environment*, Issue 45, pp. 7235-7239.

Wilson, J., 1996. Review of Lagrangian stochastic models for trajectories in the turbulent atmosphere.. *Boundary-layer Meteorology*, Issue 78, pp. 191-210.

Wu, C., Liu, J., Yan, L. & Chen, H., 2015. Assessment of odor activity value coefficient and odor contribution based on binary interaction effects in waste disposal plant. *Atmospheric Environment*, Issue 103, pp. 231-237.

Wu, C. et al., 2016. Conversion of the chemical concentration of odorous mixtures into odour concentration and odour intensity: A comparison of methods. *Atmospheric Environment*, Issue 127, pp. 283-292.

Zwaardemaker, H., 1925. *L'Odorat*. Parigi: Doin.

RINGRAZIAMENTI

Il raggiungimento di questo traguardo non sarebbe stato possibile senza il supporto e il contributo di molte persone.

Desidero innanzitutto ringraziare le professoresse Mariachiara Zanetti e Deborah Panepinto per i preziosi insegnamenti impartiti durante i due anni di laurea magistrale e per il tempo e la pazienza dedicati alla mia tesi.

Inoltre, vorrei esprimere la mia sincera gratitudine a Marco Ravina e a Jheyson Mejia Estrada, che sono stati sempre disponibili a sanare i miei dubbi nel corso della stesura del presente lavoro.

Intendo poi ringraziare la Società Metropolitana Acque Torino S.p.A., sottolineando la particolare disponibilità dell'ing. Luca De Giorgio, per aver permesso di effettuare le misurazioni indispensabili per la realizzazione della tesi.

Inoltre, vorrei ringraziare i miei compagni di corso, in particolare Costanza, Elisa, Gaia e Mariangela per i numerosi consigli durante la ricerca.

Infine, desidero ringraziare con affetto la mia famiglia e Paolo per il sostegno e il grande aiuto che mi hanno dato negli anni universitari.