

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di laurea magistrale in Analisi e gestione dell'ambiente

**DISPERSIONE DI SOSTANZE ODORIGENE  
NELL'ATMOSFERA E MODELLIZZAZIONE MEDIANTE  
SOFTWARE DEDICATO  
(un'applicazione del software LAPMOD)**

Tesi di laurea in  
PROCESSI DI TRASPORTO E DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI IN  
ATMOSFERA – CHIMICA FISICA

Relatore:

Prof. **ALBERTO MODELLI**

Correlatori:

Prof. **MASSIMO ANDRETTA**

Dott.ssa **PATRIZIA LUCIALLI (Arpae)**

Dott.ssa **ELISA POLLINI (Arpae)**

Presentata da:

**FABIO COLIN**

III Sessione  
Anno Accademico 2014/2015

## **ABSTRACT**

Gli odori rappresentano uno degli elementi di disturbo che la popolazione avverte maggiormente e, anche nel caso in cui non siano associati a sostanze tossiche, sono causa di conflitti e di intolleranza, sia nei confronti delle aziende che li diffondono nel territorio, sia nella scelta del sito di localizzazione di nuovi impianti.

La valutazione del disturbo olfattivo e la sua regolamentazione (esistono linee guida, ma non una legislazione di riferimento) rappresentano aspetti caratterizzati da elevata complessità, dal momento che l'inquinamento olfattivo è strettamente associato alla percezione umana.

Nella tesi vengono valutate le emissioni odorigene e le relative immissioni, dovute ad un comparto per la gestione integrata dei rifiuti. Per caratterizzare le emissioni sono stati prelevati dei campioni di aria presso le principali sorgenti individuate e quantificate utilizzando la tecnica dell'olfattometria dinamica. Una volta caratterizzate le sorgenti, i dati di emissione ottenuti dalla campagna di misura e dall'analisi olfattometrica sono stati utilizzati come dati di input del modello LAPMOD (LAgrangian Particle MODel). LAPMOD è stato implementato con un modulo specifico per la determinazione delle concentrazioni massime orarie che utilizza un peak-to-mean variabile nel tempo, a differenza di altri modelli che usano un valore costante per la determinazione. Dalla elaborazione dei dati è emerso che, utilizzando il modulo specifico per gli odori, le concentrazioni come 98° percentile riferite al giorno tipico hanno un andamento opposto rispetto all'uso di un peak-to-mean costante.

Dal confronto della simulazione in cui le emissioni sono indipendenti dalla variazione della portata di odore in funzione della velocità del vento con quella che invece simula tale dipendenza (nelle sorgenti che presentano paratie laterali e tettoia) è emerso che la simulazione che mitiga completamente l'effetto del vento è più coerente con la realtà.

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE DEGLI ODORI.....</b>	<b>4</b>
2.1	COS'È L'ODORE.....	4
2.2	UNITÀ DI MISURA.....	5
2.3	LA PERCEZIONE BIOLOGICA.....	6
2.3.1	<i>Fattori chimico-fisici.....</i>	8
2.3.2	<i>Fattori soggettivi.....</i>	8
2.3.3	<i>Fattori esperienziali e cognitivo-psicologici.....</i>	9
2.3.4	<i>Fattori ambientali.....</i>	9
2.4	CARATTERISTICHE DELLE MOLECOLE ODORANTI.....	10
2.4.1	<i>Concentrazione e soglia olfattiva di percezione.....</i>	10
2.4.2	<i>Intensità.....</i>	11
2.4.3	<i>Diffusibilità (volatilità).....</i>	14
2.4.4	<i>Qualità.....</i>	15
2.4.5	<i>Tono edonico.....</i>	17
2.5	EFFETTI DEGLI ODORI SULL'ORGANISMO.....	17
2.5.1	<i>Adattamento.....</i>	18
2.5.2	<i>Effetti nocivi di alcune sostanze maleodoranti.....</i>	18
2.5.3	<i>Sindrome NIMBY e BANANA.....</i>	20
2.6	SORGENTI E SOSTANZE ODORIGENE.....	21
<b>3</b>	<b>QUADRO NORMATIVO NAZIONALE ED INTERNAZIONALE.....</b>	<b>26</b>
3.1	NORMATIVA EXTRAEUROPEA.....	26
3.2	NORMATIVA EUROPEA.....	26
3.3	NORMATIVA ITALIANA.....	29
3.4	NORMATIVA REGIONALE – LE LINEE GUIDA DELLA LOMBARDIA.....	31
<b>4</b>	<b>TECNICHE DI CAMPIONAMENTO E ANALISI DEI COMPOSTI ODORIGENI.....</b>	<b>33</b>
4.1	IL PROBLEMA DELLA QUANTIFICAZIONE DEGLI ODORI.....	33
4.2	IL CAMPIONAMENTO.....	34
4.2.1	<i>Sorgenti puntuali.....</i>	35
4.2.2	<i>Sorgenti volumetriche.....</i>	36
4.2.3	<i>Sorgenti areali.....</i>	36
4.3	L'ANALISI.....	42
4.3.1	<i>Gas cromatografia e spettrometria di massa.....</i>	42
4.3.2	<i>Olfattometria dinamica.....</i>	44
4.3.3	<i>Gas cromatografia accoppiata ad olfattometria.....</i>	46
4.3.4	<i>Naso elettronico.....</i>	46
<b>5</b>	<b>L'ATMOSFERA.....</b>	<b>48</b>
5.1	STRUTTURA E DINAMICA DELL'ATMOSFERA.....	48
5.2	GRADIENTE TERMICO ADIABATICO E STABILITÀ ATMOSFERICA.....	50
5.3	INVERSIONI TERMICHE.....	53
5.4	CARATTERISTICHE DELLO STRATO LIMITE TERRESTRE.....	54
5.5	EVOLUZIONE GIORNALIERA DEL PBL.....	55
5.6	DISPERSIONE DEI PENNACCHI NEL PBL.....	57
<b>6</b>	<b>MODELLI DI DISPERSIONE ATMOSFERICA.....</b>	<b>58</b>
6.1	DATI DI SIMULAZIONE MODELLISTICA.....	58
6.1.1	<i>Dati di input.....</i>	59
6.1.2	<i>Elaborazione dei risultati.....</i>	60
6.2	RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI RISULTATI.....	61
6.3	CARATTERISTICHE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE LAPMOD.....	62
6.3.1	<i>CALMET.....</i>	63
6.3.2	<i>LAPMOD.....</i>	64
6.3.3	<i>Lapost.....</i>	67

<b>7 IL CASO DI STUDIO.....</b>	<b>68</b>
7.1 IL COMPLESSO IMPIANTISTICO.....	69
7.2 CONTESTO TERRITORIALE.....	69
7.3 QUALITÀ DELL'ARIA.....	71
7.4 IL CICLO PRODUTTIVO.....	71
7.4.1 <i>Impianto di produzione CSS e biotunnel.....</i>	<i>72</i>
7.4.2 <i>Impianto di termovalorizzazione di CSS (IRE).....</i>	<i>74</i>
7.4.3 <i>Impianto di trattamento chimico-fisico (TCF).....</i>	<i>75</i>
7.4.4 <i>Discarica per rifiuti non pericolosi e pericolosi.....</i>	<i>77</i>
7.4.5 <i>Impianto DISIDRAT.....</i>	<i>82</i>
7.4.6 <i>Centro di stoccaggio e pretrattamento.....</i>	<i>85</i>
7.5 PIANO DI CAMPIONAMENTO.....	86
7.6 ANALISI OLFATTOMETRICA.....	87
7.7 CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA.....	89
7.7.1 <i>VENTO.....</i>	<i>90</i>
7.7.2 <i>TEMPERATURA.....</i>	<i>92</i>
7.7.3 <i>CLASSI DI STABILITÀ.....</i>	<i>93</i>
7.7.4 <i>ALTEZZA DI RIMESCOLAMENTO.....</i>	<i>94</i>
7.8 DOMINIO DI SIMULAZIONE.....	95
7.9 FATTORI DI EMISSIONE.....	99
7.10 CONSIDERAZIONI SU ALCUNE SORGENTI.....	101
7.11 MODULAZIONI TEMPORALI DELLE EMISSIONI.....	103
7.12 LE SENTINELLE DELL'ODORE.....	104
7.13 ANALISI DI SENSIBILITÀ.....	109
7.14 VALIDAZIONE MODELLO DI SIMULAZIONE.....	114
7.14.1 <i>CONFRONTO TRA LE SIMULAZIONI.....</i>	<i>127</i>
7.15 SIMULAZIONI ANNUALI.....	131
7.15.1 <i>CONFRONTO TRA SIMULAZIONE CON 23 E 81 SORGENTI.....</i>	<i>131</i>
7.15.2 <i>CONFRONTO TRA SIMULAZIONE CON METODO CLASSICO E MODULO SPECIFICO PER GLI ODORI.....</i>	<i>132</i>
7.16 CONFRONTO CON ADMS-URBAN.....	142
<b>8 CONCLUSIONI.....</b>	<b>146</b>
<b>ALLEGATO 1.....</b>	<b>149</b>
<b>ALLEGATO 2.....</b>	<b>152</b>
<b>ALLEGATO 3.....</b>	<b>153</b>
<b>ALLEGATO 4.....</b>	<b>154</b>
<b>ALLEGATO 5.....</b>	<b>155</b>
<b>ALLEGATO 6.....</b>	<b>157</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>159</b>

# 1 INTRODUZIONE

L'inquinamento atmosferico può essere definito come la presenza nell'atmosfera di sostanze che causano un effetto negativo misurabile sulle componenti dell'ambiente in cui viviamo (sull'essere umano, sugli animali, sulla vegetazione o sui materiali). L'inquinamento può essere di origine antropica, cioè causato dall'attività dell'uomo (ad esempio, impianti industriali, riscaldamento, traffico veicolare), oppure di origine naturale (ad esempio, l'azione di erosione, esalazioni vulcaniche ecc.).

Le forme tipiche di inquinamento atmosferico in ambiente aperto possono essere così riassunte:

- Inquinamento primario da agenti chimici / biologici / polveri / aerosol
- Inquinamento secondario (fotochimico) da agenti chimici
- Oltre la troposfera: effetto serra e buco dell'ozono
- Inquinamento olfattivo

Una sola sorgente di emissioni o un solo stabilimento può produrre tutte queste forme di inquinamento contemporaneamente, ma ciascuno richiede un diverso approccio nella misurazione e nella regolamentazione (Rossi, 2015).

Gli effetti delle attività umane sull'ambiente sono sempre di più oggetto di attenzione. Si possono individuare degli indicatori dei fenomeni in atto che non ricadono direttamente sotto i nostri sensi: si pensi, ad esempio, ai livelli dei microinquinanti dell'aria nelle aree urbane, o più semplicemente il tenore di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera come indice dell'intensità dell'effetto serra. Sono però le sensazioni dirette come il caldo torrido estivo, la presenza di nebbia o "smog", il sapore alterato dei cibi e bevande, che ci pongono nelle condizioni di concordare, con più o meno accorata convinzione, con le teorie sulla salute del pianeta. Dei cinque sensi, l'olfatto è certamente uno di quelli stimolati più direttamente dalla presenza di attività umana (Pivetta, 2012). L'odore ha sempre una causa prossima, la presenza di sostanze odorigene nell'aria, ed una più remota, cioè l'emissione nell'ambiente di tali sostanze da parte di una sorgente. Seppure in molti casi sia possibile mettere in diretta relazione la fonte di emissione e le sostanze emesse con la loro risultante presenza nell'ambiente, sono molte più numerose le situazioni in cui non è facile stabilire una corrispondenza biunivoca tra l'odore percepito e le cause che lo generano. Va pure considerato che la sensibilità della percezione olfattiva è, in molti casi, superiore a quella dei più moderni sistemi analitici, cioè si riescono ad avvertire sostanze a concentrazioni al di sotto di quella che si è in grado di misurare strumentalmente (Centola et al., 2004).

Gli odori rappresentano uno degli elementi di disturbo che la popolazione avverte maggiormente e, anche nel caso in cui non sono associati a sostanze tossiche, sono causa di conflitti e di

intolleranza, sia nei confronti delle aziende che li diffondono nel territorio, sia nella scelta del sito di localizzazione di nuovi impianti (Bruno et al., 2003). Questo genera una serie di impatti negativi, che si manifestano con il deprezzamento dei suoli, la ridotta appetibilità delle abitazioni, l'impoverimento delle attività commerciali e turistiche nei centri limitrofi alla fonte dell'emissione, che possono degenerare nell'abbandono o comunque nella riduzione di qualsiasi tipo di investimento nella zona interessata. L'interesse verso questo problema si è accentuato soprattutto negli ultimi anni anche a causa dell'ubicazione degli impianti in zone sempre più urbanizzate e dall'espansione di queste ultime.

La definizione di limiti normativi alle emissioni di odori costituisce un problema di non facile risoluzione, stanti le difficoltà connesse alla soggettività della percezione olfattiva e alle modalità di determinazione degli odori nell'ambiente. Requisito preliminare per una normativa organica in materia di odore è l'avvenuta acquisizione di conoscenze sui fenomeni che determinano l'insorgenza degli odori nei diversi comparti e sulle modalità operative che consentono di evitare o limitare al minimo il manifestarsi del fenomeno, nonché sui fattori che determinano la diffusione degli odori e sulle norme di prevenzione relative. Altro requisito essenziale è la capacità di pervenire ad una valutazione oggettiva della intensità della sensazione soggettiva della presenza di odore (Sberveglieri et al., 2003).

Il crescente interesse dell'uomo verso la qualità dell'ambiente e della vita ha portato quindi a riconoscere gli odori molesti come inquinanti atmosferici a tutti gli effetti ed a coniare il termine "inquinamento olfattivo" per indicare il loro impatto negativo sull'ambiente circostante e sulla popolazione esposta. Numerose, infatti, sono le segnalazioni da parte dei cittadini e le richieste da parte delle autorità di verifica della presenza di molestie olfattive e di valutazione, di carattere preventivo o progettuale, dell'impatto olfattivo.

L'attività di tirocinio è stata svolta presso la sede provinciale di Arpa Ravenna; lo scopo del lavoro di tesi è stato quello di valutare le emissioni odorigene (sorgenti) e le relative immissioni (recettori), dovute ad un comparto per la gestione integrata dei rifiuti. Una volta individuate le principali sorgenti odorigene del comparto preso in esame, si è proceduto al loro campionamento e alla successiva determinazione della concentrazione di odorante presente in ognuno dei campioni tramite analisi olfattometrica. A partire dalle concentrazioni sono state stimate le emissioni di ciascuna sorgente che, insieme alle diverse caratteristiche delle sorgenti, alla morfologia del territorio e alla meteorologia, hanno costituito l'input di un modello di stima della dispersione delle sostanze in atmosfera. Il modello utilizzato è di tipo Lagrangiano a particelle tridimensionale e non stazionario (software LAPMOD - LAGRANGIAN PARTICLE MODEL), accoppiato al modello meteorologico diagnostico CALMET. L'elaborazione modellistica consente di mettere in relazione le fonti di emissione di sostanze odorigene con la loro

diffusione/presenza nell'ambiente e, in un contesto complesso come il comparto di studio (caratterizzato da diverse tipologie di impianti a carattere odorigeno), di tentare una relazione tra l'entità dell'odore percepito dalla popolazione e le diverse sorgenti emissive che lo generano.

## 2 CARATTERIZZAZIONE DEGLI ODORI

### 2.1 COS'È L'ODORE

L'odore è un'emanazione trasmessa dall'aria, percepita dall'apparato olfattivo dell'uomo e degli animali in generale, e che può fungere da stimolo, conscio o inconscio, per richiamare ricordi, emozioni, bisogni o necessità.

La percezione dell'odore è basata su un processo a due step (Frechen e Koster, 1998):



L'interpretazione psicologica è un processo individuale che non può essere descritto mediante relazioni o equazioni universalmente valide (Frechen e Koster, 1998).

L'odore è quindi la proprietà di una sostanza, o meglio, di una miscela di sostanze, dipendente dalla loro concentrazione, capace di attivare il senso dell'olfatto e tale da innescare la sensazione di odore (Brennan, 1993; Belgiorno et al., 2009).

L'odore è stato riconosciuto un inquinante a tutti gli effetti in tempi molto recenti: in tutto il mondo sono state emanate ben poche leggi che fissino i limiti di emissione dell'odore dalle sorgenti industriali e che definiscano dei criteri di qualità dell'aria attinenti l'odore. Esso è un inquinante che può deteriorare la qualità della vita e influire negativamente sulle attività economiche (ad esempio intaccando il valore degli immobili o i profitti del turismo) ma in generale non danneggia la salute umana secondo il significato comune che si assegna a questa parola. Solo negli ultimi anni l'olfattometria, ovvero la tecnica sensoriale di misura della concentrazione di odore, è stata sottoposta a standardizzazioni nazionali e internazionali; senza tali standard l'odore era una sensazione soggettiva, sulla quale nessuna normativa poteva essere fondata. Con il termine "inquinamento olfattivo" si indica l'impatto negativo degli odori molesti sull'ambiente circostante e la popolazione esposta. Infatti, sebbene solo raramente a tali emissioni risulti associato un reale pericolo per la salute umana, l'esposizione prolungata a cattivi odori può essere causa di malessere e di varie forme di attività riflesse e disagio psicologico. Per questo si tenta un approccio agli odori come ai comuni contaminanti atmosferici, anche se con tutte le difficoltà dovute alla loro particolare natura. La maggior parte delle emissioni maleodoranti hanno composizione chimica complessa, essendo costituite da molti composti diversi a concentrazioni dell'ordine del  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  o inferiori, dalla cui combinazione ed interazione nasce la sensazione complessiva di odore ("odorante" = sostanza o miscela di sostanze responsabile della emanazione di un odore, "odore" = sensazione che l'odorante genera quando viene rilevata ed interpretata dal sistema olfattivo).



## 2.2 UNITÀ DI MISURA

La concentrazione di una miscela gassosa analizzata con tecniche analitiche è espressa in massa/volume ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) o moli/volume o ppm e, non potendo essere determinata con riferimento all'intera miscela, è relativa alla quantificazione numerica delle singole sostanze che la compongono. Con l'applicazione della tecnica sensoriale dell'olfattometria dinamica, la concentrazione di odore viene espressa in Unità Odorimetriche su metro cubo ( $\text{OU}/\text{m}^3$ ).

In particolare, secondo la norma tecnica UNI EN 13725, si definisce unità odorimetrica europea ( $\text{OU}_E$ ) la quantità di odorante/i che, quando evaporata in  $1 \text{ m}^3$  di gas neutro in condizioni normali, provoca una risposta fisiologica (soglia di rivelazione) da un gruppo di prova equivalente a quella provocata da una massa di odore di riferimento europeo (EROM), evaporata in  $1 \text{ m}^3$  di gas neutro in condizioni normali. Un EROM, evaporato in  $1 \text{ m}^3$  di gas neutro in condizioni normali, è la massa di sostanza che provoca la risposta fisiologica D50 (soglia di rivelazione), valutata da un gruppo di prova di esperti di odore in conformità alla presente norma e che ha, per definizione, una concentrazione di  $1 \text{ OU}_E / \text{m}^3$ . Per l'*n*-butanolo (N° CAS 71-36-3) un EROM è  $123 \mu\text{g}$ . Evaporato in  $1 \text{ m}^3$  di gas neutro, in condizioni normali, esso produce una concentrazione di  $0,040 \mu\text{mol}/\text{mol}$  (che equivale ad una frazione in volume di 40 parti per miliardo).

Esiste una relazione tra l' $\text{OU}_E$  per l'odorante di riferimento e quello per ogni miscela di odoranti. Tale relazione è definita solo a livello della risposta fisiologica D50 (soglia di rivelazione), dove:

$$1 \text{ EROM} \equiv 123 \mu\text{g } n\text{-butanolo} \equiv 1 \text{ OU}_E \text{ per la miscela di odoranti.}$$

Tale collegamento costituisce la base della rintracciabilità delle unità di odore di ogni odorante a quella dell'odorante di riferimento. Esso esprime a tutti gli effetti le concentrazioni di odore in termini di "equivalenti in massa dell'*n*-butanolo".

La concentrazione di odore può essere valutata solo a una concentrazione presentata di  $1 \text{ OU}_E/\text{m}^3$ . Come di conseguenza, la concentrazione di odore è espressa come multiplo di un  $\text{OU}_E$  in  $1 \text{ m}^3$  di gas neutro. La concentrazione di odore, in  $\text{OU}_E/\text{m}^3$ , si può utilizzare nello stesso modo delle concentrazioni in massa ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) (UNI EN 13725, 2003). Nel presente lavoro verrà indicato solo OU, da intendersi come  $\text{OU}_E$ .

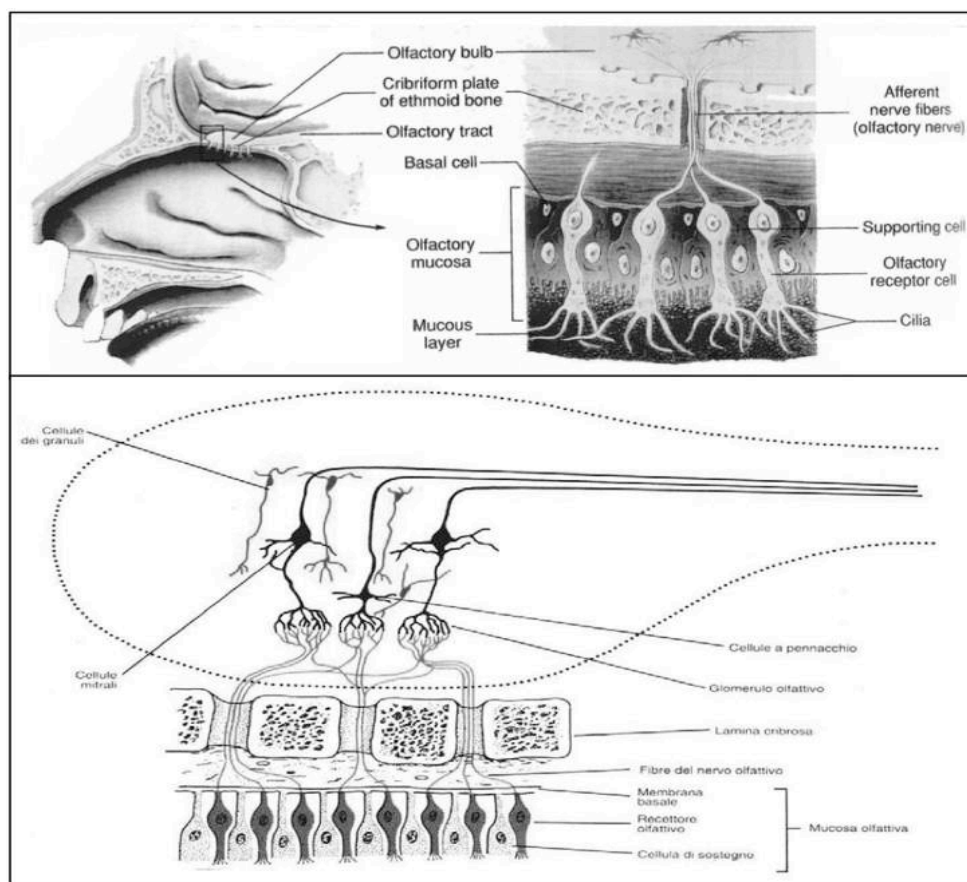
L'*n*-butanolo è stato selezionato come materiale di riferimento in virtù della sua storia di utilizzo e della disponibilità dell'infrastruttura metrologica che fornisce un materiale di riferimento rintracciabile. Sarebbe tuttavia preferibile una miscela di riferimento. I confronti interlaboratorio di *n*-butanolo e gli odori ambientali e la ricerca di base hanno dimostrato che il limite di ripetibilità per le miscele di odoranti è migliore di quello dei singoli componenti. Sarebbe auspicabile lo sviluppo di una miscela di riferimento (UNI EN 13725, 2003).

### **2.3 LA PERCEZIONE BIOLOGICA**

Dal punto di vista evolutivo, l'olfatto è uno dei sensi più antichi. Gli esseri umani spesso lo considerano di scarsa utilità, mentre per la maggior parte degli animali l'olfatto è il senso di importanza più vitale, quello che permette di trovare il cibo, di sfuggire ai predatori e di scegliere il partner per l'accoppiamento. L'olfatto interagisce con molti aspetti diversi della vita e del comportamento dell'uomo. È noto come i sensi chimici (olfatto e gusto) arricchiscano l'interazione dell'uomo con l'ambiente esterno e rendano le sue esperienze più complete (si pensi all'intenso potere evocativo degli odori e la loro capacità di influenzare l'umore). Questo è dovuto al fatto che parte dell'elaborazione degli stimoli olfattivi avviene nelle stesse aree cerebrali che presiedono alle emozioni ed alla memoria (Dalton, 2002).

La percezione degli odori ha inizio nella parte posteriore del naso, in una piccola area chiamata epitelio olfattivo, situata alla sommità di ciascuna delle cavità nasali. Normalmente l'aria che viene respirata non raggiunge la regione olfattoria, ma interessa la parte media e inferiore delle cavità nasali. La quantità d'aria inalata che viene a contatto con questa regione aumenta al crescere della velocità del flusso e della turbolenza. Una tale accelerazione si verifica ad esempio quando si annusa: il flusso d'aria inalato è da 2 a 4 volte superiore rispetto al normale. L'epitelio olfattivo misura approssimativamente  $2,5 \text{ cm}^2$  ed è costituito da circa 50 milioni di neuroni che sono i responsabili della trasmissione dei segnali nei sistemi sensoriali e forniscono una connessione diretta tra il mondo esterno e il cervello. Da una terminazione di ogni neurone si estendono verso l'esterno, a diretto contatto con l'aria, 8-20 sensori ciliati. Le ciglia sono immerse in uno strato di muco dello spessore di circa 60 micron ed è da esse che parte la trasduzione sensoriale. La mucosa è una secrezione ricca di lipidi prodotta dalle ghiandole di Bowman che bagna la superficie dei recettori. La sua funzione è determinante, in quanto soltanto le sostanze volatili che riescono a permeare questo strato di muco e a interagire con i recettori olfattivi sono in grado di dare luogo ai segnali che il nostro cervello interpreta come odori. Per questo motivo le molecole odoranti devono essere sufficientemente volatili (in pratica devono avere un peso molecolare  $< 300 \text{ Da}$ ) e lipofile per essere recepite. Dall'estremità dei neuroni parte una fibra, l'assone, che va a raggiungere il bulbo olfattivo, localizzato nella parte frontale del cervello, posteriormente al naso. Nel bulbo gli assoni convergono in aree dette glomeruli; essi fungono da prima stazione di collegamento per l'elaborazione olfattiva nel cervello. Nella mucosa olfattiva sono presenti anche alcune terminazioni del nervo trigemino, responsabili delle sensazioni tattili, di pressione, dolore e temperatura, che possono dare luogo a effetti di caldo, freddo, prurito e irritazione. L'epitelio olfattivo contiene inoltre cellule staminali neuronali che si rigenerano ogni 40 giorni circa (Figura 2.1). Esaminando il DNA si è scoperto che circa 1.000 geni codificano 1.000 recettori olfattivi diversi. Dato che il DNA umano contiene probabilmente circa 100.000

geni, allora l'1% di questi viene usato per la percezione degli odori. Esistono, dunque, 1.000 differenti recettori (ogni recettore è espresso in migliaia di neuroni) in grado di rilevare circa 10.000 odori; di conseguenza ciascun recettore deve rispondere a numerose molecole di odore. Quando le molecole di un odore vengono inalate, esse si legano a proteine specializzate, chiamate recettori proteici, che si trovano sull'estremità delle cilia. La formazione di questi legami dà origine a un segnale elettrico che viaggia fino all'assone. Qui le correnti attraversano la membrana cellulare e a questo punto la cellula calcola la loro intensità globale come differenza di potenziale attraverso la membrana: se la somma supera una certa soglia di eccitazione, il neurone emette impulsi (Leffingwell, 2002; Sberveglieri et al., 2003; Centola et al., 2004).



**Figura 2.1 Localizzazione degli organi componenti il sistema olfattivo e architettura dell'epitelio olfattivo (in alto), particolare di una cilia (in basso).**

La percezione dell'odore è data da una complessa organizzazione di stimoli elettrici che partono dai recettori e arrivano in diverse zone del cervello che deve riuscire a determinare la precisa combinazione di recettori che viene attivata. La caratteristica principale di questa organizzazione è la distribuzione casuale dei recettori che però proiettano i loro assoni verso pochi e ben determinati glomeruli nel bulbo olfattivo. Dato che i glomeruli sono sensibili in misura diversa a specifici odori, e le posizioni dei singoli glomeruli sono topologicamente definite, il bulbo olfattivo fornisce una mappa bidimensionale che identifica quali recettori siano stati attivati

nell'epitelio nasale. Un certo odore attiverà una definita combinazione, distribuzione di glomeruli. Sperimentalmente è stato dimostrato che queste distribuzioni dipendono moltissimo dall'esperienza. Fino a quando un animale non viene addestrato in modo diverso, si ricava la stessa mappa olfattiva ogni volta che esso annusa una particolare sostanza odorosa. Quando però viene modificato il significato associato a quella sostanza la mappa ad essa riferita cambia in modo sorprendente. Si capisce quindi la natura fortemente soggettiva della percezione olfattiva: il cervello è la sede dell'individualità dell'uomo, dove si originano i suoi comportamenti, dove si accumulano le sue esperienze e, quindi, dove si formano la sua storia e la sua cultura. Ogni individuo percepisce gli odori in modo strettamente legato alla sua "storia individuale" e alle sue esperienze passate, e questo si traduce in enormi differenze nelle sensazioni che uno stesso stimolo può provocare in soggetti diversi, o anche nello stesso soggetto in diverse situazioni (Castano et al., 1992; UNI EN 13725, 2003). La grande variabilità biologica associata alla sensibilità olfattiva è uno degli scogli della ricerca sugli odori, poiché rende difficile l'oggettivazione dei criteri di valutazione e dei metodi di misura.

I principali fattori che influiscono sulla percezione olfattiva sono (Bertoni et al., 1993):

### **2.3.1 Fattori chimico-fisici**

Comprendono le relazioni tra la sensazione olfattiva generata da un odorante (attività odorigena) e le sue proprietà strutturali, chimiche e chimico-fisiche:

- Dimensioni e forma delle molecole;
- Idrosolubilità: caratteristica necessaria per permeare la superficie di muco che ricoprono le cellule olfattive;
- Volatilità: le molecole di sostanze odorose devono essere contenute nell'aria che respiriamo;
- Lipofilità: per consentire all'odorante di penetrare le membrane cellulari che contengono lipidi;
- Polarità: il superamento del potenziale critico di membrana è condizione necessaria per il verificarsi di una sensazione di odore.

Questi fattori influenzano soprattutto la fase iniziale del meccanismo di percezione, l'interazione tra le molecole odorigene e le cellule olfattive. La maggior parte dei meccanismi coinvolti nell'interazione odoranti-recettori è ancora sconosciuta, così come le relazioni tra la chimica delle molecole e il potenziale odorigeno (questa è la causa principale della mancanza di una classificazione completa ed univoca degli odori).

### **2.3.2 Fattori soggettivi**

- Disfunzioni olfattive: *iposmia* e *anosmia* (diminuzione e perdita totale della sensibilità verso

uno, alcuni o tutti gli odoranti, che può essere transitoria o permanente), *iperosmia* (esaltazione della sensibilità agli odori), *parosmia* (percezione alterata, sbagliata di un odore reale, se la sensazione che ne risulta è sgradevole si dice *cacosmia*);

- Alterazioni del senso dell'olfatto dovute a malattie (sinusiti, raffreddori o allergie possono provocare problemi di trasmissione per cui gli odoranti non riescono a raggiungere l'epitelio olfattivo) o a danneggiamenti dell'epitelio o delle fibre nervose, in seguito a infezioni, cause accidentali o esposizione a tossici (per esempio i fumatori sono generalmente meno sensibili dei non fumatori);
- Età: all'aumentare dell'età diminuisce uniformemente la sensibilità agli odori, a causa della riduzione di neurogenesi (nascita di nuove cellule olfattive, che dopo un ciclo di vita di circa 60 giorni vengono sostituite); verso i 60 anni di età comincia il declino della risposta olfattiva che si riduce drasticamente oltre gli 80;
- Sesso: le donne hanno generalmente una maggiore sensibilità agli odori rispetto agli uomini e inoltre la loro sensibilità olfattiva sembra essere relazionata al ciclo ormonale, aumentando all'inizio di una gravidanza e diminuendo invece dopo il parto ed anche dopo la menopausa (ipotesi non completamente confermate);
- Relazione dose-risposta: la sensazione provocata da un odore varia in funzione della quantità di sostanza odorosa inalata.

### **2.3.3 Fattori esperienziali e cognitivo-psicologici**

Comprendono tutti gli aspetti legati alla sfera psicologica dell'individuo: tratti personali, contesto sociale, storia di esposizione e associazione con esperienze olfattive passate. Sono i fattori che rendono estremamente variabili e soggettivi gli effetti che gli odori hanno su chi li percepisce e le relazioni tra le proprietà delle sostanze e le sensazioni generate.

### **2.3.4 Fattori ambientali**

Fra i fattori che influenzano la sensibilità olfattiva, ma anche il grado di volatilizzazione degli odori, vi sono alcuni fattori ambientali, come l'umidità relativa dell'aria. Più precisamente, un elevato valore di umidità relativa riduce la sensibilità olfattiva e, nel frattempo, accelera la volatilizzazione degli odori di parecchie sostanze. Si producono, dunque, due effetti antagonisti ma che intervengono con peso differente. In pratica, è riconosciuto che una riduzione dell'umidità relativa ha effetti positivi in quanto la diminuzione conseguita nella produzione degli odori è più spiccata dell'aumento di sensibilità olfattiva che ne consegue. Per quanto riguarda le sostanze la cui produzione di odore è indipendente dall'umidità relativa (*acido isovalerianico*, *piridina* ecc.), un aumento di umidità relativa diminuisce la sensibilità olfattoria e

può quindi risultare benefico. Diversi studi, infine, sembrano indicare che gli effetti combinati di campi elettrici ad alta tensione e alta frequenza, sulle molecole d'aria (elettrosmog), riducono la sensibilità olfattoria (Fanizzi et al., 2001)

## **2.4 CARATTERISTICHE DELLE MOLECOLE ODORANTI**

Analizzando la struttura chimica delle molecole responsabili di alcune categorie di odori, si sono riscontrate delle somiglianze. Ad esempio, i composti aventi odore di pesce generalmente contengono un atomo di azoto legato ad altri tre atomi, con una coppia di elettroni non leganti. Alcuni esempi comuni di molecole di questo tipo sono la *dimetilammina*  $\text{CH}_3\text{-NH-CH}_3$  e l'*etilammina*  $\text{H}_2\text{N-CH}_2\text{CH}_3$ . In ogni caso si è visto anche che piccolissime differenze nella struttura di una molecola possono portare a notevoli differenze di odore. Sono state individuate, infatti, circa 250 coppie di enantiomeri che presentano odori significativamente diversi, nonostante strutturalmente siano praticamente identici. Inoltre è possibile riscontrare la presenza di una grande varietà di strutture molecolari diverse riconducibili ad un unico odore (ad esempio l'odore di muschio) (Leffingwell, 2003). Purtroppo, fino ad oggi, non è stato possibile trovare una precisa correlazione fra le sensazioni odorose e la struttura chimica delle molecole che la causano. Si può invece cercare di descrivere un odorante in maniera più accurata attraverso 5 parametri:

- Concentrazione e soglia olfattiva di percezione;
- Intensità;
- Diffusibilità (volatilità);
- Qualità;
- Tono edonico.

### **2.4.1 Concentrazione e soglia olfattiva di percezione**

Come visto nel paragrafo 2.2 la concentrazione di odore viene espressa in modo diverso a seconda della tecnica di analisi impiegata per determinarla (analitica o sensoriale). La percettibilità, o soglia olfattiva, rappresenta quella concentrazione minima raggiunta in atmosfera da una sostanza odorigena che le consente di provocare uno stimolo nel sistema recettivo di un essere umano. Si possono distinguere tre tipologie (Brattoli e De Gennaro, 2008):

- Soglia di percettibilità (Odour Threshold - OT): rappresenta la concentrazione per la quale il 50% delle persone rileva un odore (ALLEGATO 1);
- Soglia di riconoscimento: rappresenta la concentrazione alla quale non solo si riesce a rilevare la presenza di un odore, ma anche a distinguerlo qualitativamente;
- Soglia di contestazione: rappresenta la concentrazione alla quale un odore inizia a provocare

una sensazione di fastidio.

In letteratura sono state determinate sperimentalmente le concentrazioni corrispondenti alle soglie olfattive di molti composti. Questi valori sono utilizzabili solo quando si riferiscono a sostanze pure. In presenza di miscele invece, si possono verificare effetti di indipendenza, additività, sinergia e antagonismo (Centola et al., 2004; Belgiorno et al., 2009):

- Indipendenza:  $R_{AB} \leq R_A$  o  $R_B$
- Additività:  $R_{AB} = R_A + R_B$
- Sinergia:  $R_{AB} > R_A + R_B$
- Antagonismo:  $R_{AB} < R_A + R_B$

$R_{AB}$  rappresenta l'OT della miscela ottenuta combinando le sostanze A e B, mentre  $R_A$  e  $R_B$  indicano l'OT dei rispettivi composti A e B puri.

Quando si ha a che fare con sostanze odoranti tossiche è utile confrontare i valori di OT con la soglia di tossicità, riferendosi normalmente al Threshold Limit Value (TLV). Vedasi paragrafo 2.5.2 Effetti nocivi di alcune sostanze maleodoranti.

## 2.4.2 Intensità

L'intensità rappresenta la proprietà che esprime la forza della sensazione olfattiva; è una misura della grandezza della sensazione che lo stimolo genera ed è chiaramente dipendente dall'odorante e dall'individuo che lo avverte (McGinley e McGinley, 2002). Essa quindi porta un'informazione complementare rispetto alla concentrazione e, sebbene spesso i due parametri siano considerati sinonimi, tra di essi esiste una sostanziale differenza: la concentrazione è una misura della quantità di odore presente nel mezzo gassoso, cioè della grandezza effettiva dello stimolo, qualunque sia la sua natura, mentre l'intensità è una misura della grandezza della sensazione che lo stimolo genera, essendo rilevato e interpretato dal sistema olfattivo, ed è chiaramente dipendente dall'odorante e dall'individuo che lo avverte (Chen et al., 1999; Schulz et al., 2002). Nella percezione olfattiva il numero di molecole stimolanti è correlata alla loro concentrazione nell'aria respirata. Solitamente, tanto più elevata è la concentrazione dell'odorante, tanto più intensa è la sensazione che genera. Si può dire, quindi, che la concentrazione d'odorante "C" è la grandezza che controlla la forza dello stimolo olfattivo e che la forza della sensazione olfattiva "I" dipende dalla forza dello stimolo. Infatti, sebbene concettualmente diverse, concentrazione ed intensità di odore sono grandezze correlate e tale dipendenza può essere descritta utilizzando funzioni matematiche. Sono state proposte diverse funzioni matematiche che descrivono qualitativamente la dipendenza dell'intensità dalla concentrazione: Le più utilizzate sono quelle di *Weber-Fechner* e di *Stevens*, che in realtà

rappresentano due formulazioni diverse della stessa relazione (Sberveglieri et al., 2003; Centola et al., 2004).

**RELAZIONE DI STEVENS:**  $I = K_S(C - C_0)^n$  con  $C > C_0$

$I$  = intensità della sensazione odorosa, adimensionale;

$K_S$  = coefficiente di Stevens, dipende dalla sostanza considerata;

$C$  = concentrazione dell'odorante (OU/m<sup>3</sup>);

$C_0$  = concentrazione alla soglia di percezione (olfattiva) (OT) (OU/m<sup>3</sup>);

$n$  = esponente che dipende dalla sostanza, compreso tra 0,2 e 0,8, fornisce un'importante indicazione riguardo l'effetto di un'eventuale diluizione nella riduzione dell'odore, che, ovviamente, risulta crescente all'aumentare di  $n$ .

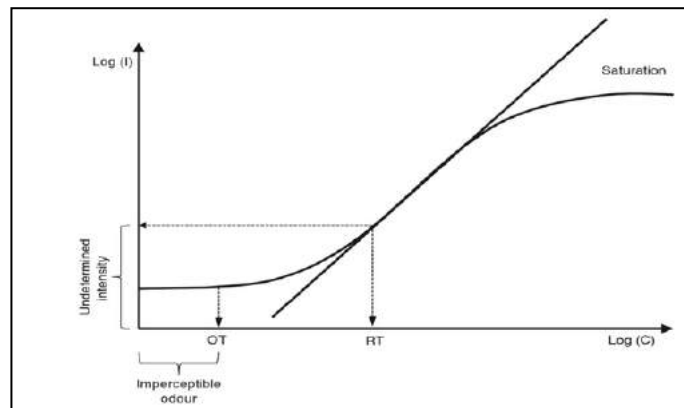


Figura 2.2: Correlazione tra intensità di odore e concentrazione di odore secondo Stevens.

Esprimendo poi la legge di Stevens in forma logaritmica si ottiene la seguente funzione lineare:

$$\log(I) = n \log(C - C_0) + K_S$$

Volendo, poi, relazionare il logaritmo dell'intensità in funzione del grado di diluizione, si ricava una funzione decrescente, la cui pendenza è chiamata *persistenza* che rappresenta efficacemente la funzione dose-risposta (McGinley e McGinley, 2002; Giuliani, 2011) (Figura 2.3).

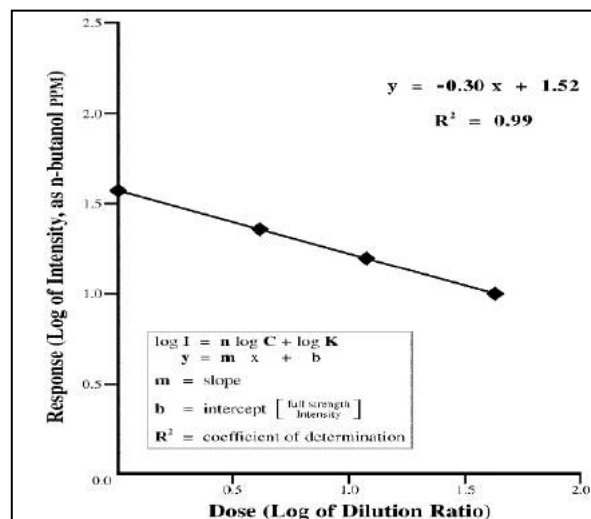


Figura 2.3: Persistenza dell'odore per l'*n*-butanolo.



Da quest'ultima rappresentazione sono facilmente rilevabili quante diluizioni servono per ottenere il valore cercato dell'intensità dell'odore considerato.

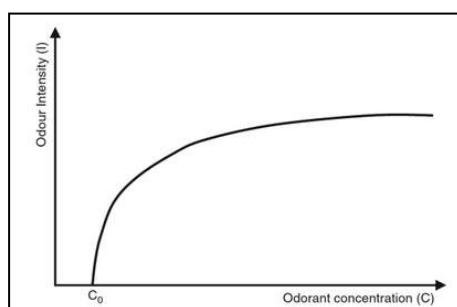
**RELAZIONE DI WEBER-FECHNER:**  $I = K_W \log \frac{C}{C_0}$  con  $C > C_0$

$I$  = intensità della sensazione odorosa, adimensionale;

$K_W$  = coefficiente di Weber-Fechner, caratteristico dell'odorante, da determinare in via sperimentale mediante misure olfattometriche sia di concentrazione che di intensità.

$C$  = concentrazione dell'odorante (OU/m<sup>3</sup>);

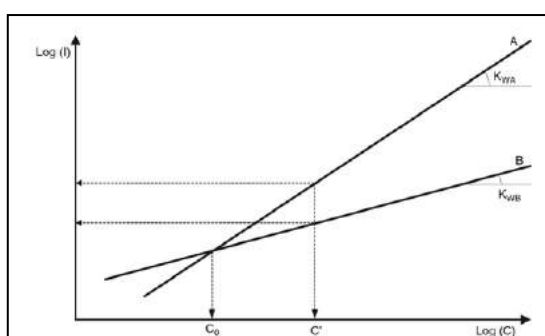
$C_0$  = concentrazione alla soglia di percezione (olfattiva) (OT) (OU/m<sup>3</sup>).



**Figura 2.4: Correlazione tra intensità di odore e concentrazione di odore secondo la modellazione di Weber-Fechner.**

Rappresenta l'andamento logaritmico della funzione  $I-C$ , evidenziando il fatto che, al di sotto della soglia di percezione ( $C_0$ ), l'intensità rimane costantemente nulla.

Riportando in un grafico i valori d'intensità di odore, valutati tramite test olfattometrici, rispetto alle concentrazioni dell'odorante (concentrazioni rilevabili dal 50% del panel), in scala logaritmica, si ottiene una retta tramite la quale si può valutare l'intensità dell'odore misurando la concentrazione sul posto (Figura 2.5). La pendenza ( $K_W$ ) di tale retta, rappresenta il rapporto fra le concentrazioni dell'odore a due successivi gradi d'intensità odorosa.



**Figura 2.5: Andamento dell'intensità in funzione del logaritmo della concentrazione.**

Da questa rappresentazione è possibile dedurre come due sostanze diverse, aventi la medesima soglia olfattiva e presenti nell'aria a uguale concentrazione, possono provocare una sensazione odorosa molto differente. L'intensità dello stimolo, dunque, a pari concentrazione, aumenta al crescere del coefficiente di Weber-Fechner.

Generalmente l'intensità si determina per via olfattometrica, con modalità simili a quelle per la misura della concentrazione, ma presentando al panel concentrazioni dell'odorante superiori alla soglia di percezione. Il panel che partecipa a misure di intensità di odore (come anche di tono edonico) non è selezionato in modo da avere una risposta olfattiva standard, come avviene per le misure di concentrazione, ma è costituito da esperti di valutazioni sensoriali, "addestrati" a riconoscere e classificare gli stimoli olfattivi. Ad essi è richiesto di assegnare, ad ogni livello di diluizione del campione, un valore di intensità secondo una scala predefinita. L'utilizzo delle *scale di categoria* (a 4, 5, 6, 7, 11 o più livelli) sintetiche e facilmente riproducibili, consente di esprimere l'intensità di odore in termini quantitativi: ad ogni categoria corrisponde, infatti, un numero ed una breve descrizione della sensazione odorosa corrispondente a quel livello. In genere si usano scale a 4 o 6 livelli, una scala esemplificativa è riportata in Tabella 2.1, un maggiore dettaglio nella classificazione porta ad una maggiore indecisione del panel. L'intensità misurata in questo modo viene espressa mediante un numero adimensionale corrispondente al livello della categoria assegnata al campione (Chen et al., 1999).

**Tabella 2.1: Scala di intensità odorosa a 6 livelli.**

LIVELLO DI INTENSITÀ	DESCRIZIONE
0	nessun odore
1	odore appena avvertito (OT)
2	odore debole ma riconoscibile
3	odore chiaramente identificabile
4	odore forte
5	odore molto forte

### 2.4.3 Diffusibilità (volatilità)

Un odore può essere rilevato solo quando una molecola gassosa si dissolve nella mucosa olfattiva e riesce a legarsi a un recettore. Tutte le sostanze in grado di produrre una sensazione odorosa devono pertanto essere in grado di emettere dei vapori. Per questa ragione la volatilità dei composti, quantificabile in termini di tensione di vapore, è un parametro fondamentale nella stima della capacità di una sostanza di causare un odore. Un parametro indicativo della capacità di diffusione dell'odore di una singola sostanza è l'Odour Index (O.I.), definito come il rapporto (adimensionale) tra la tensione di vapore della sostanza odorante, espressa in ppm (assumendo che 1 atmosfera corrisponda a  $10^6$  ppm), e la concentrazione minima percepibile dal 100% dei panel selezionati per l'analisi (sempre in ppm).

$$O.I. = \frac{P_{vap}}{OT100\%}$$

L'O.I. permette di superare l'apparente eccezione di quelle sostanze che, pur presentando una

bassissima tensione di vapore, sono fortemente odorose e, viceversa, di quelle sostanze dotate di tensione di vapore sufficientemente elevata ma che non danno forti sensazioni di odore. Sono considerati potenzialmente poco odorosi i composti con O.I. inferiore a  $10^5$ , come alcani e alcuni chetoni, mentre composti solforati quali i mercaptani (es. *isopropilmercaptano*) possono raggiungere valori di O.I. di  $10^9$  (Ziemacki e Settimo, 2007). In Tabella 2.2 sono riportati i valori di O.I. per alcune sostanze odorigene.

**Tabella 2.2: Indice di odore di alcune sostanze odorigene (Lisovac e Shooter, 2003).**

COMPOSTO	P <sub>vap</sub> (KPa, 25°C)	OT <sub>100%</sub> (ppm)	O.I. (25°C)
<i>2-ottanone</i>	0,10	250	4
<i>Etanolo</i>	7,87	6000	13
<i>Toluene</i>	3,79	40	947
<i>Acetone</i>	30,8	300	1030
<i>1-pentanolo</i>	0,26	1	2590
<i>Esano</i>	20,2	64	3160
<i>2-butanone</i>	12,6	30	4200
Propene	1190	80	149000
<i>Esanale</i>	1,48	0,0094	1574500
<i>Pentanale</i>	4,58	0,02	2290000
<i>Disolfuro di carbonio</i>	48,2	0,21	2295000
<i>1-esene</i>	24,8	0,02	12400000
<i>Dimetidisolfuro</i>	3,82	0,0014	27280000
<i>Dimetilsolfuro</i>	64,4	0,0014	460000000
<i>Metantiolo</i>	202	0,0021	961900000
<i>Idrogeno solforato</i>	2020	0,0047	4297870000

#### 2.4.4 Qualità

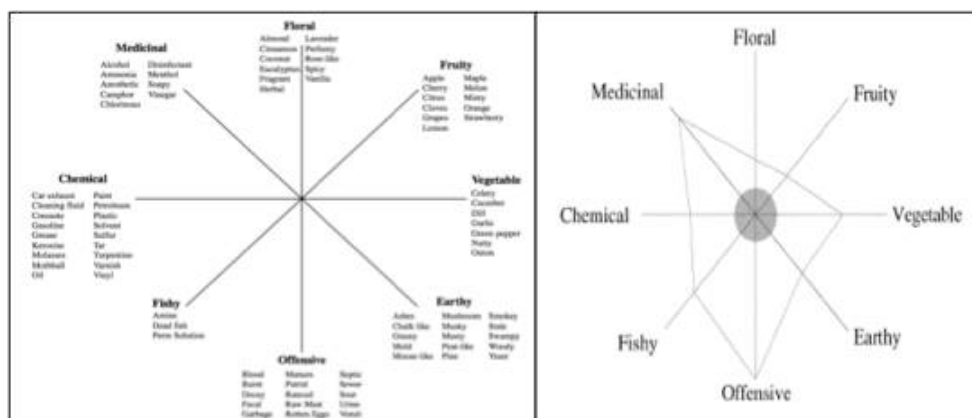
L'uomo può riconoscere migliaia di odori diversi e associare a ciascuno di essi un codice che il cervello è in grado di interpretare come una specifica sensazione. La qualità (o carattere) è la proprietà che permette di identificare un odore e che lo rende distinguibile dagli altri (McGinley et al., 2000). Questa catalogazione però è resa difficile dalla soggettività intrinseca della sensazione olfattiva. Negli anni sono state proposte molte classificazioni di odori basate sulla suddivisione in diverse categorie, nel tentativo di fornire una descrizione della qualità della sensazione. Di seguito vengono dati alcuni esempi che comunque non bastano a eliminare completamente la soggettività nella descrizione qualitativa delle sensazioni olfattive.

Hendrik Zwaardemaker rielaborò la prima classificazione data da Carol Linnaeus (1707-1778) individuando nove classi (Tabella 2.3). Nel sistema di classificazione suggerito da Crocker e Henderson esistono quattro tipi di odori fondamentali dai quali, con diverse combinazioni, si possono ottenere tutti gli altri (Wise et al., 2000).

**Tabella 2.3: Categorie della qualità di odore in 9 classi.**

Classe	Descrizione
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)

Un altro esempio è dato dalla cosiddetta “ruota degli odori” rappresentata nella **Figura 2.6** in cui l’odore è distinto in 8 categorie: floreale, fruttato, vegetale, terroso, sgradevole, pesce, chimico e medicinale. Con la ruota degli odori è possibile ottenere un grafico a forma di ragnatela che definisce la qualità dell’odore applicando, in relazione all’intensità, un valore da 0 a 5 ad ogni descrittore (McGinley e McGinley, 2002).



**Figura 2.6: Ruota di descrizione degli odori (sx) e grafico a ragnatela di descrizione della qualità di un odore (dx).**

**Tabella 2.4: Descrittori di qualità associati ad alcune sostanze odorogene più comuni delle famiglie dei mercaptani, idrocarburi aromatici e solfuri (Benzo e Bonsanto, 2014).**

Compound (campione solido)	Odour descriptor	Compound (campione liquido)	Odour descriptor
<i>Methanethiol</i>	cabbage – sulfurous	<i>Methyl pentene</i>	suffocating
<i>Ethanethiol</i>	earthy – garlic	<i>Methyl pentene</i>	suffocating
<i>Dimethyl sulfide</i>	onion – cabbage	<i>Di methyl ciclo pentene</i>	garlic like
<i>Carbon disulfide</i>	sulfurous – almost herbaceous	<i>Methyl cyclo hexane</i>	garlic like
<i>2-propanethiol</i>	garlic – sulfurous	<i>Tri methyl cyclo pentene</i>	garlic like
<i>1-propanethiol</i>	cabbage – penetrating	<i>Tri methyl pentene</i>	garlic like
<i>Ethyl methyl sulfide</i>	onion – sulfurous	<i>t- butyl ethyl sulfide</i>	garlic like
<i>2-butanethiol</i>	onion – sulfurous	<i>Tri methyl pentene</i>	garlic like
<i>Iso-propyl methyl sulfide</i>	sulfurous	<i>t- butyl isopropyl sulfide</i>	garlic like
<i>1-butanethiol</i>	skunky – cabbage	<i>t- butyl propyl sulfide</i>	rocket

<i>Ter-butyl methyl sulfide</i>	rotten onion – sulfurous	<i>Di ethyl benzene</i>	aromatics
<i>Dimethyl disulfide</i>	cooked cabbage – sulfurous	<i>Tetramethyl benzene</i>	hydrocarbon
<i>2,3-dihydrothiophene</i>	garlic	<i>Methyl indane</i>	aromatics
<i>2-methylthiophene</i>	gasoline – onion		
<i>Tetrahydrothiophene</i>	sulfurous – cabbage		
<i>Ethyl methyl disulfide</i>	sulfurous – garlic		
<i>2-methyltetrahydrothiophene</i>	Sulfurous		
<i>3-methyltetrahydrothiophene</i>	sulfurous		
<i>Tetrahydrothiopyran</i>	sulfurous		
<i>2,5dimethyltetrahydrothiophene</i>	sulfurous – garlic		
<i>2,3dimethyltetrahydrothiophene</i>	sulfurous – garlic		
<i>2,4dimethyltetrahydrothiophene</i>	sulfurous – garlic		
<i>Diethyl disulfide</i>	burnt – garlic		
<i>Dimethyl trisulfide</i>	burnt – sulfurous		

### 2.4.5 Tono edonico

Il tono edonico è la proprietà che lega un odore allo stimolo di gradevolezza o repulsione. È possibile attribuire un valore al grado di piacevolezza di uno stimolo odoroso fissando una scala arbitraria (Figura 2.7). È, quindi, il parametro direttamente responsabile del disturbo e della molestia olfattiva. Gli odori, però, non devono essere necessariamente spiacevoli per causare lamentele da parte di individui costantemente esposti (Ziemacki e Settimo, 2007). La fondamentale differenza tra l'intensità di odore e il tono edonistico, entrambe grandezze che si riferiscono all'effetto provocato dallo stimolo odorigeno, consiste nel carattere maggiormente soggettivo dell'informazione contenuta nel tono edonistico, che si riferisce esplicitamente al giudizio positivo o negativo sulla sensazione ricevuta (VDI 3882/1994).

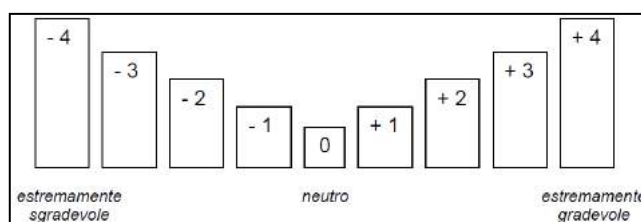


Figura 2.7: Scala di tono edonico a 9 livelli (Lisovac e Shooter, 2003).

## 2.5 EFFETTI DEGLI ODORI SULL'ORGANISMO

La reazione degli individui agli odori dipende essenzialmente dai fattori FIDOL (Nicell, 2009).

Tabella 2.5: Fattori FIDOL.

<b>Frequenza</b>	indica quanto spesso un individuo è esposto all'odore
<b>Intensità</b>	indica la forza della percezione dell'odore
<b>Durata</b>	indica la durata dell'evento odoroso
<b>Offensività</b>	indica la natura dell'odore in riferimento al suo tono edonico
<b>Localizzazione</b>	indica l'uso del suolo e la natura delle attività umana in prossimità della sorgente

Differenti combinazioni di questi fattori avranno come risultato effetti diversi; per esempio, odori molti intensi percepiti per un periodo breve possono avere effetti immediati sulla salute, mentre odori poco intensi percepiti per un periodo lungo possono influire sulla qualità della vita nell'area interessata. Il grado di sensibilità in una determinata zona è basato sulle caratteristiche di uso del suolo, inclusa la ragione che porta gli individui ad occupare una porzione del territorio. Ogni luogo è caratterizzato da un differente grado di sensibilità che può essere alta, moderata o bassa. Gli odori sgradevoli non hanno quasi mai effetti tossici o nocivi per i livelli di concentrazione molto bassi. Essi costituiscono quindi più un fattore di stress (disturbo, molestia) che un vero e proprio fattore di rischio per la salute umana. Tuttavia, la presenza di una sgradevole sensazione odorosa può scatenare una serie di attività riflesse di intensità variabile e soggettive, che si ripercuotono a vari livelli dell'organismo, con conseguenze su equilibrio psico-fisico e comportamento dell'individuo. Tali manifestazioni includono disturbi come ipersalivazione, nausea, vomito, cefalea, collasso, e risposte a vari livelli del sistema nervoso, soprattutto di tipo emozionale (Fuoco, 2005).

### **2.5.1 Adattamento**

In generale, per adattamento si intende il processo per cui piccoli cambiamenti ambientali provocano modificazioni inconsce del comportamento degli individui, che tendono ad adeguarsi alle nuove condizioni. Nel caso dell'olfatto, l'adattamento ad un odore consiste nella perdita di sensibilità verso quel particolare stimolo (misurabile osservando l'aumento della soglia di percezione), causata da un'esposizione prolungata e/o da elevate concentrazioni, che possono anche portare alla scomparsa completa della sensazione. Studi sulla dinamica del processo di adattamento olfattivo hanno dimostrato che l'incremento della soglia con il tempo di esposizione si ha, in realtà, solo in un primo breve periodo all'inizio della stimolazione, dopo il quale tale aumento si stabilizza intorno ad un valore. L'adattamento e la scomparsa degli odori sono attribuiti al fatto che le terminazioni nervose del sistema olfattivo diventano irraggiungibili per saturazione. La dinamica con cui avviene il meccanismo di adattamento dipende dalla natura e dall'intensità dell'odore, oltre che dalle condizioni specifiche in cui è percepito (Fuoco, 2005).

### **2.5.2 Effetti nocivi di alcune sostanze maleodoranti**

Per valutare gli effetti delle sostanze odorigene è opportuno riferirsi alle concentrazioni di esposizione, analogamente a quanto viene fatto per valutare la tossicità dei classici inquinanti. Di seguito sono riassunti gli effetti delle più diffuse sostanze odorose, in relazione al livello di concentrazione (Sberveglieri et al., 2003).

**H<sub>2</sub>S (acido solfidrico):** a basse concentrazioni produce progressivamente irritazione agli occhi,

alle prime vie respiratorie ed edema polmonare, mentre a concentrazioni più elevate, vicino ai limiti letali (>700 ppm) origina un odore quasi piacevole o non è proprio avvertito, poiché distrugge le cellule olfattive. **R-SH (mercaptani/tioli)**: provocano, per tempi di esposizione brevi, effetti gastrici, danni al processo di trasporto dell'ossigeno e possono provocare, come l'H<sub>2</sub>S, gravi irritazioni all'apparato respiratorio. **CS<sub>2</sub> (Solfuro di carbonio)**: irritante anche a basse concentrazioni sia per la pelle che per gli occhi, il naso e le vie aeree; ad elevate concentrazioni, per azione sul sistema nervoso, causa perdita di conoscenza e può anche essere letale; a basse concentrazioni, ma per esposizione prolungata provoca attacchi cardiaci ed aumento della pressione arteriosa. **NH<sub>3</sub> (ammoniaca)**: fortemente irritante per bronchi, polmoni; l'esposizione prolungata a basse concentrazioni è causa di bronchite cronica ed enfisema. **Ammine**: producono irritazione alle mucose delle prime vie aeree e agli occhi, con possibili danni corneali. **RC(O)R' (Chetoni)**: provocano irritazioni, soprattutto a carico degli occhi e della mucosa nasale, con possibili lesioni corneali ed alterazioni anche permanenti della vista; a concentrazioni più elevate hanno effetto narcotico con danni al sistema nervoso centrale e periferico. **C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>O (Aldeidi)**: svolgono azione irritante sulle congiuntive e sulle mucose delle vie aeree, mentre aldeidi insature e con sostituenti alogenati possono provocare gravi alterazioni sempre a carico dell'apparato respiratorio. **Acidi organici**: non hanno evidenziato gravi effetti patogeni a basse concentrazioni, se si escludono irritazioni ai bronchi in caso di esposizione cronica; la tossicità dei vapori aumenta con il grado di alogenazione e in alcuni casi (*acido cloroacetico* (ClCH<sub>2</sub>COOH), *ac. tricloroacetico* (CCl<sub>3</sub>COOH), *ac. trifluoroacetico* (CF<sub>3</sub>COOH)) gli effetti caustici producono gravi ustioni alla cute, agli occhi e alle vie aeree superiori.

Si osserva quindi in molti casi una associazione tra odori e potenziali effetti negativi sulla salute umana; detti effetti, nella realtà, sono spesso evitati dai livelli di concentrazione generalmente molto bassi presenti nell'aria ambiente, anche vicino a sorgenti odorigene, e comunque grazie alla funzione di "allarme" costituita dallo sgradevole odore o dalle prime irritazioni. Questo però non si verifica per alcuni composti tossici, per i quali la soglia olfattiva è più elevata dei valori riportati in letteratura come massima concentrazione ammissibile (TLV); in questi casi dunque risulta fondamentale l'utilizzo di una tecnica strumentale che sostituisca la sensibilità olfattiva come "sentinella" dell'esposizione a sostanze nocive (Bertoni et al., 1993).

Per valutare il grado di tossicità di una sostanza gassosa vengono utilizzate le seguenti grandezze:

- TLV (Treshold Limit Value), valore di massima concentrazione di esposizione: indica la massima concentrazione a cui un soggetto può essere esposto, senza incorrere in effetti patogeni, nel corso della sua vita lavorativa (convenzionalmente costituita da 8 ore giornaliere, per 5 giorni alla settimana, per 50 settimane l'anno);

- MAC (Maximum Allowable Concentration), massima concentrazione ammissibile: indica il valore di concentrazione che non può mai essere superato neanche per un breve periodo di tempo.

In Tabella 2.6 sono riportate per alcune sostanze i valori di TLV e di OT; la pericolosità delle sostanze può essere indicata con il rapporto OT/TLV: se tale rapporto è minore di 1, l'odore viene percepito prima che la sua concentrazione raggiunga il livello di tossicità, altrimenti, esiste il pericolo di non avvertire affatto l'emissione nociva (Bertoni et al., 1993).

**Tabella 2.6: Valori di OT (mg/m<sup>3</sup>) e TLV (mg/m<sup>3</sup>) per alcuni composti odorigeni (Bertoni et al., 1993; Sberveglieri, 2003 modificate), in grassetto evidenziate le sostanze con OT > TLV.**

SOSTANZA	OT	TLV	OT/TLV
<i>Acetaldeide</i>	1,8	180	0,01
<i>Acetone</i>	240	2400	0,10
<i>Acido acetico</i>	6,5	25	0,26
<b><i>Acrlonitrile</i></b>	47	45	<b>1,04</b>
<b><i>Acroleina</i></b>	0,49	0,25	<b>1,96</b>
<b><i>Ammoniaca</i></b>	37	18	<b>2,06</b>
<b><i>Anidride solforosa</i></b>	79	13	<b>6,08</b>
<i>Benzene</i>	4,5	32	0,14
<b><i>Canfora</i></b>	100	2	<b>50,00</b>
<b><i>Dimetilformamide</i></b>	300	30	<b>10,00</b>
<b><i>Diossano</i></b>	620	320	<b>1,94</b>
<i>Etilmercaptano</i>	0,03	1,25	0,02
<i>Fenolo</i>	1,18	19	0,06
<i>Formaldeide</i>	1,2	3	0,40
<b><i>Glicol metilenico</i></b>	190	80	<b>2,38</b>
<i>Idrogeno solforato</i>	0,03	14	0,00
<b><i>Metanolo</i></b>	7800	260	<b>30,00</b>
<i>Metilmercaptano</i>	0,08	1	0,08
<b><i>Ozono</i></b>	0,2	0,05	<b>4,00</b>
<b><i>Tetracloruro di carbonio</i></b>	650	65	<b>10,00</b>
<i>Toluene</i>	5,89	535	0,01
<b><i>Tricloroetilene</i></b>	535	115	<b>4,65</b>

### 2.5.3 Sindrome NIMBY e BANANA

L'opinione pubblica è sempre più portata ad associare a qualunque installazione industriale o sanitaria, soprattutto legata allo smaltimento dei rifiuti solidi o liquidi, emissioni sgradevoli o maleodoranti e a rifiutarle prescindendo dal reale impatto. Si tratta delle sindromi NIMBY (Not In My Back Yard, “non nel mio giardino”) e BANANA (Build Absolutely Nothing Anywhere Near Anything, “non costruire assolutamente nulla in alcun luogo vicino a qualunque cosa”) che, sempre più frequentemente, sono riportate agli onori delle cronache.

La sindrome NIMBY indica un atteggiamento che si riscontra nelle proteste contro opere di



interesse pubblico che hanno, o si teme possano avere, effetti negativi sui territori in cui verranno costruite, come ad esempio grandi vie di comunicazione, cave, sviluppi insediativi o industriali, termovalorizzatori, discariche, centrali elettriche e simili. L'atteggiamento consiste nel riconoscere come necessari, o comunque possibili, gli oggetti del contendere ma, contemporaneamente, nel non volerli nel proprio territorio a causa delle eventuali controindicazioni sull'ambiente locale.

La sindrome BANANA, invece, indica un atteggiamento di opposizione a qualsiasi opera pubblica, a prescindere dagli effetti negativi che la stessa possa avere.

Mentre nei decenni precedenti la realizzazione di grandi impianti industriali e di estese reti infrastrutturali era giudicata come indispensabile per il raggiungimento del benessere economico di ogni singolo Paese e i fenomeni di degrado ambientale erano da considerare come un conto necessario e accettabile, agli inizi degli anni settanta cominciarono a farsi spazio dubbi sulla correttezza di una crescita economica indiscriminata. Il maggior grado di istruzione, la sensibilità e l'attenzione verso le tematiche ambientali, la grande disponibilità di informazioni, il clima di sfiducia nei confronti dei governi locali e dell'industria, la possibilità di ricorrere ad azioni legali, hanno portato alla diffusione dei fenomeni NIMBY e BANANA in tutti i Paesi industrializzati. Oggi, anche strutture che si ritengono necessarie allo sviluppo sostenibile del territorio, che riducono gli impatti ambientali dovuti agli stili di vita della nostra società, incontrano opposizioni locali basate su eventuali o ipotetici rischi per l'ambiente e la salute. (Giuliani, 2011).

## 2.6 SORGENTI E SOSTANZE ODORIGENE

In Tabella 2.7 è riportato un elenco delle tipologie industriali e delle relative fasi osmogenicamente critiche presenti negli impianti suscettibili di dar luogo a molestie olfattive. L'elenco non esaurisce l'intera casistica delle tipologie impiantistiche, ma comporta certamente che il "problema odore" debba essere considerato (Sironi et al., 2003).

**Tabella 2.7: Livello di concentrazione di odore alle emissioni per tipologia impiantistica e relativa fase.**

Tipologia impiantistica	Concentrazione di odore (OU/m <sup>3</sup> ) *	Fasi osmogene	Concentrazione di odore (OU/m <sup>3</sup> )
Impianto di trattamento reflui industriali	10 <sup>5</sup>	lavaggio autobotti	10 <sup>4</sup>
		ricezione	10 <sup>5</sup>
		grigliatura	10 <sup>5</sup>
		impianto biologico	10 <sup>5</sup>
		fitopressa	10 <sup>5</sup>
		cumuli di fanghi	10 <sup>5</sup>
		lavorazione in batch	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4</sup>
		lavorazione in CSTR	10 <sup>3</sup>
		vasche di lavorazione	10 <sup>3</sup>

Impianto di trattamento reflui civili	$10^3 - 10^5$	cumuli di fanghi	$10^3 - 10^4$
		denitrificazione	$10^3$
		ossidazione	$10^2$
		sedimentazione	$10^3$
Produzione ceramica	$10^4 - 10^5$	forno statico	$10^4$
		forno dinamico	$10^5$
Fonderia	$10^4 - 10^5$	forno fusorio	$10^4 - 10^5$
		raffreddamento pezzi	$10^4 - 10^5$
		distaffatura	$10^4$
		finitura/sabbiatura	$10^4$
		aria di reparto	$10^3$
Produzione mangimi per animali (farine)	$10^4 - 10^5$	mulino/macinazione	$10^4$
		estrusione	$10^5$
		essiccamento	$10^5$
		raffreddamento	$10^5$
Rendering	$10^6$	lavorazione carne	$10^6$
		aria di reparto	$10^5$
Industria di lavorazione gomma	$10^4$	vulcanizzazione	$10^4$
		aria di reparto	$10^3$
Impianto di compostaggio e trattamento meccanico-biologico	$10^2 - 10^3$	cumuli di verde	$10^3$
		cumuli di fanghi	$10^2 - 10^5$
		cumuli di compost	$10^2 - 10^3$
		ricezione e preselezione	$10^3 - 10^4$
		biossidazione accelerata	$10^3 - 10^4$
		maturazione finale	$10^3 - 10^4$
		emissione biofiltro	120 - 5000
		emissione scrubber	$10^3 - 10^4$
		emissione scrubber + deodorizzante	200 - 250
		percolato	$10^4$
Discarica di rifiuti	$10^2 - 10^5$	cumuli di rifiuti	$10^4$
		rifiuto urbano fresco	$10^3$
		rifiuto urbano parzialmente ricoperto	$10^2$
		rifiuto urbano totalmente ricoperto	$10^2$
		rifiuto industriale fresco	$10^3 - 10^4$
		fanghi	$10^3$
		lotto stabilizzato	$10^2$
		percolato	$10^5$
		perdite di biogas da pozzi di captazione	$10^2 - 10^5$
		Ristorazione	$10^3 - 10^4$
emissioni da forni industria dolciaria	$10^3 - 10^2$		
emissioni abbattitore ad acqua	$10^3 - 10^2$		
emissioni abbattitore a carboni attivi	$10^3$		
emissione abbattitore con zeolite	$10^3$		
emiss. abbattitore ad acqua + deodorizzante	$10^3$		
industria farmaceutica	$10^3 - 10^2$		
Industria chimica	$10^3 - 10^4$	produzione tessuti non agotrattabili	$10^3$
		emissioni da biofiltro	$10^3$
Impianto di trattamento fanghi	$10^3 - 10^4$	vasca stoccaggio fanghi	$10^5 - 10^3$
		abbattitore ad acqua + deodorizzante	$10^3$

\* valore fornito dall'ordine di grandezza della concentrazione di odore (OU/m<sup>3</sup>) all'emissione misurata sperimentalmente con campagne olfattometriche effettuate sulle diverse fasi di ogni singolo impianto.

Sebbene le sorgenti descritte producano, nella maggior parte dei casi, odoranti con composizione molto complessa, si possono individuare composti e/o classi di composti che spesso si ritrovano come componenti principali nelle emissioni (Tabella 2.8) (Kehoe et al., 1996; Azzeri, 1997).

**Tabella 2.8: Principali sostanze contenute nelle emissioni delle più comuni sorgenti odorogene.**

<b>SORGENTE</b>	<b>COMPOSTI</b>
Impianti depurazione acque	H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , (metil)mercaptani, composti solforati, ammine, piridina, scatolo, indolo, ac. grassi volatili, aldeidi e chetoni.
Impianti di compostaggio e CSS	etanolo, limonene, acetoina, cadaverina, putrescina, H <sub>2</sub> S, metilmercaptani, ac. butirrico, ac. acetico, acetaldeide, trimetilammina, dimetildisolfuro.
Discariche	NH <sub>3</sub> , ammine, H <sub>2</sub> S, mercaptani, composti solforati, acidi grassi saturi e insaturi, aldeidi, chetoni, idrocarburi aromatici, limonene, composti clorurati, alcoli, solfuri organici, bisolfuri, terpeni.
Impianti agricoli	NH <sub>3</sub> e ammine, mercaptani, composti solforati, acidi grassi, composti clorurati, fenoli, alcoli, aldeidi, chetoni, esteri.
Allevamenti di bestiame	NH <sub>3</sub> , ammine e ammidi, H <sub>2</sub> S, mercaptani, composti solforati, acidi grassi.
Industria alimentare	alcoli, aldeidi, chetoni, acidi organici, esteri.
Raffinerie	mercaptani, fenoli, acidi organici, composti solforati, aldeidi.
Lavorazione legno, cartiere	mercaptani, alcoli, terpeni, canfora.
Ind. chimica e farmaceutica	acidi, alcoli, aldeidi, chetoni, fenoli, mercaptani, ammine, solventi organici clorurati, esteri.
Lavorazione ferro e metalli	aldeidi, idrocarburi alifatici e aromatici, acidi organici.
Termovalorizzatori	acetone, ac. acetico, benzene, metano, idrogeno solforato, ammoniaca, disolfuro di carbonio, toluene, mercaptani.

In riferimento alle emissioni odorogene di impianti ed attività di gestione dei rifiuti, si può individuare un ristretto gruppo di sostanze riconosciute come maggiori responsabili della molestia olfattiva. In questo tipo di impianti la produzione di cattivi odori è imputabile principalmente alle condizioni di anaerobiosi che possono instaurarsi in alcune zone o fasi del processo di trattamento, o durante la demolizione microbica della materia organica. In carenza di ossigeno, i composti complessi presenti nel materiale originario, ed in particolare la sostanza organica, vengono degradati solo parzialmente e l'ossidazione si ferma a stadi intermedi, invece che portarsi a compimento originando come prodotti finali metaboliti totalmente ossidati (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O ecc.). Nei gas esausti emessi dagli impianti si ritrovano quindi cataboliti intermedi ridotti, come composti solforati, azotati, ossigenati e acidi grassi. Di seguito è riportata una breve descrizione delle principali classi di composti odorogeni presenti nelle emissioni delle sorgenti più comuni (Bertoni et al., 1993; Il Grande, 2000; D'Alessandro, 2002; Sberveglieri et al., 2003).

### **Composti solforati ridotti**

Sono gli odoranti più utilizzati ad indicare la presenza di processi anaerobici. Infatti, benché si

formino in minima parte anche in condizioni aerobiche, in carenza di ossigeno la loro presenza è anche di tre ordini di grandezza superiore. Lo zolfo è contenuto principalmente nelle proteine, in particolare negli aminoacidi solforati metionina e cisteina. I composti dello zolfo comprendono sia composti inorganici (come  $H_2S$  e  $SO_2$ ), sia composti organici volatili con almeno un gruppo -SH (organo solfuri). L' $H_2S$ , classico odore di “uova marce”, è prodotto in condizioni anaerobiche principalmente attraverso la scissione di cisteina e metionina, metabolizzabili da molti comuni batteri (come E. Coli che genera  $H_2S$  come sottoprodotto). Questo gas è un indicatore di condizioni strettamente anaerobiche e si forma, infatti, quando si ha la formazione di sacche anaerobiche nei cumuli di rifiuti o di compost, oppure quando il materiale in ingresso in impianti di compostaggio o in discariche è compattato e stoccato da più giorni senza rivoltamenti né altri tipi di areazione.

Gli organo-solfuri odorigeni più comuni hanno una soglia olfattiva molto bassa e sono i seguenti:

- $(CH_3)_2S$  (*dimetilsolfuro*) e  $(CH_3)_2S_2$  (*dimetildisolfuro*) (odore di “vegetali in decomposizione”) che costituiscono circa il 50% delle emissioni sulfuree;
- $CH_4S$  (*metantiolo*) ed  $C_2H_6S$  (*etantiolo*): il primo è un potente odorante ma fortemente instabile e in condizioni aerobiche subisce una rapida ossidazione a  $(CH_3)_2S_2$ ;
- *mercaptani* (o *tioli*, con odore caratteristico di “cavolo in decomposizione”) fra cui il più importante è il *metilmercaptano*; si ritrovano nelle emissioni solo in condizioni anaerobiche spinte altrimenti vengono anch'essi rapidamente ossidati a *dimetildisolfuro*.

### **Acidi grassi volatili**

Comprendono gli acidi grassi a catena breve ( $C_2 - C_8$ ) con il gruppo  $C=O$ . Hanno, soprattutto quelli con catene da 4 a 7 atomi di carbonio, una soglia olfattiva molto bassa e un tipico odore rancido e pungente. Sono intermedi metabolici, derivanti dall'incompleta ossidazione dei lipidi (specialmente di origine vegetale), che per carenza di ossigeno non possono essere completamente convertiti in  $CO_2$ . Quando l'ossigeno scende al di sotto di un certo livello, anche se non è totalmente assente, vengono favoriti energeticamente i processi fermentativi che vedono questi acidi organici come accettori di elettroni al posto dell'ossigeno. In condizioni aerobiche e con sufficiente quantità di ossigeno, vengono rapidamente metabolizzati.

Gli acidi grassi più comuni sono: *acido formico*; *acido acetico*; *acido propionico*; *acido butirrico*; *acido valerianico* e *acido isovalerianico*.

### **Composti azotati**

Comprendono l'ammoniaca  $NH_3$  (ha un odore caratteristico acuto e pungente) e composti organici con almeno un gruppo  $-NH_2$  (*metilammina*, *dimetilammina*, *trimetilammina*, con odore “pungente, di pesce”), sia molecole molto complesse come il *trimetilindolo* (scatolo, con odore caratteristico di “escrementi”). Le ammine derivano dalla scissione (deamminazione) degli

amminoacidi in condizioni anaerobiche da parte di numerosi batteri (E. Coli). Si formano anche a pH bassi, durante le fermentazioni anaerobiche di composti contenenti azoto.

I composti più comuni sono: ammoniaca; *metilammina*; *dimetilammina*; *trimetilammina*; *etilammina*; *scatolo*; *indolo*; *piridina*; *putrescina*; *cadaverina* e *acrilonitrile*.

### **Terpeni**

Sono composti derivati da un unico precursore comune, l'*isoprene*, che è un prodotto endogeno del metabolismo e la cui biosintesi deriva principalmente dalla via dell'*acido mavelonico*. Terpeni importanti per la molestia olfattiva sono: *limonene* e *α-pinene*, le cui fonti più abbondanti sono gli olii essenziali contenuti negli scarti ligneo-cellulosici presenti nelle miscele di compostaggio; grandi quantità di terpeni sono presenti nei rifiuti, provenienti dai tessuti stessi dei vegetali contenuti negli scarti di cucina. Altri terpeni odorigeni sono *b-pinene* e il *camfene*.

### **Composti ossigenati**

Derivano da processi di demolizione e fermentazione in condizioni anaerobiche; comprendono:

- alcoli (gruppo –OH), quelli alifatici hanno odore classico di alcool, mentre quelli aromatici hanno aromi floreali;
- aldeidi (gruppo –CHO) quelle a catena breve hanno odore dolce, pungente, di frutti come mandorle e mele, mentre quelle a catena lunga hanno odore caratteristico di grasso, di fritto. Esempi: *acetaldeide*; *formaldeide*; *butiraldeide*; *isobutialdeide*; *valer aldeide*;
- chetoni, quelli a catena breve hanno odore pungente, dolciastro, vagamente floreale ma fortemente sgradevole, che diventa di grasso rancido per quelli a catena lunga. Esempi: *acetone*; *butanone*; *2-pentanone*;
- eteri, odore pungente caratteristico dell'etere;
- esteri, odore dolciastro, con una base insistente di grasso nauseante.

## 3 QUADRO NORMATIVO NAZIONALE ED INTERNAZIONALE

### 3.1 *NORMATIVA EXTRAEUROPEA*

Nell'ultimo ventennio negli Stati Uniti sono state emanate numerose norme tecniche per il controllo del problema delle molestie olfattive. In particolare, sono state pubblicate le norme E 679-91 (Pratiche standard per la determinazione della soglia di odore e gusto con il metodo della scelta forzata), E 1432-91 (Definizione, calcolo individuale delle soglie di gruppo con il metodo della scelta forzata), E 544-99 (Pratiche standard per il riconoscimento della soprasoglia d'intensità dell'odore) dall'ASTM (American Society for Testing and Materials). Esse introducono il metodo olfattometrico ed i concetti di soglie, fattori di scala, fattori di diluizione, nonché le variabili riguardanti la scelta del panel, la sua selezione, il numero di panelist e il loro grado di allenamento (Sberveglieri, 2003).

In Giappone, sin dal 1972, è in vigore la legge sul controllo degli odori molesti che ha fatto gradualmente diminuire il numero di lamentele provocate soprattutto da impianti industriali e allevamenti di bestiame; di contro, è cresciuto il numero di reclami per cattivi odori provocati da attività di servizio, come ad esempio i ristoranti. La più importante novità introdotta dalla legge è stata l'adozione di un innovativo metodo di analisi degli odori, meglio noto come "Triangle Odor Bag Method"; in questo metodo ai membri del panel viene fornito un set di 3 sacche (bag), una sacca contiene l'odorante e 2 sacche sono prive di odore e devono scegliere la sacca contenente l'odorante. L'odore è diluito gradualmente e il test continua fino a che è impossibile identificare il bag con l'odorante. L'indice di odore è calcolato attraverso il tasso di diluizione cui il panel non sente più odore. Tale metodo prevede l'uso di una sacca di plastica (nello specifico, film di poliestere) con capacità di 3 litri e adozione di un test triangolare, in maniera tale da rimuovere ogni preconcetto dei valutatori. Per quanto riguarda l'operazione di campionamento, viene introdotta invece una differenziazione tra campionamenti di flussi di gas convogliati e campionamenti di aria proveniente da un ambiente esterno (Sberveglieri, 2003; [www.env.go.jp](http://www.env.go.jp) ultimo accesso: 21/10/2015).

### 3.2 *NORMATIVA EUROPEA*

La necessità di un metodo adeguato alla misura della concentrazione di odore ha portato all'introduzione di standard olfattometrici che permettono di valutare in modo standardizzato la molestia olfattiva prodotta dalle emissioni in atmosfera di sostanze maleodoranti. In Europa, tale standard è dettato dalla norma europea EN 13725 "Odour concentration measurement by

dynamic olfactometry” sviluppata dal CEN (Comitato Europeo di Normazione) negli anni '90 e pubblicata nell'aprile del 2003 ed attualmente in fase di revisione.

Nella UNI EN 13725:

- Vengono elencati i materiali, le caratteristiche che questi devono possedere e il modo con cui eseguire la pulizia delle apparecchiature utilizzate per effettuare le analisi;
- Si descrive la procedura di costruzione dell'olfattometro, per segnalare le caratteristiche fisiche dell'apparecchiatura che consentono una comoda e veritiera analisi da parte del panel;
- Si indicano le caratteristiche dei locali in cui allocare la strumentazione ed eseguire l'analisi;
- Si descrive come deve avvenire il procedimento di campionamento dell'aria sulla quale eseguire le analisi;
- Vengono definite le caratteristiche che devono possedere le persone che costituiscono il panel;
- Si definiscono i due metodi con cui è possibile far percepire al panel l'odore.

Nell'Ottobre del 2013, l'Unione Europea ha pubblicato un BREF (Bat REference document) sul monitoraggio: il JRC Reference Report on Monitoring of emissions from IED-installations. I principi generali contenuti nel BREF riguardano il controllo delle emissioni e i parametri ad esse associati, conoscenze fondamentali per decidere l'approccio e frequenza di monitoraggio, nonché per l'elaborazione e l'uso dei dati di monitoraggio. Pertanto, questo documento si propone di promuovere l'accuratezza, l'affidabilità, la rappresentatività e la comparabilità dei dati di monitoraggio degli impianti industriali. All'interno di questo BREF, per quanto riguarda le emissioni odorigene, si fa riferimento alla olfattometria dinamica (EN 13725:2003), ai modelli di dispersione, all'ispezione in campo, ai nasi elettronici e al monitoraggio del disturbo olfattivo fra la popolazione, tramite questionari come strumenti di monitoraggio degli odori (JRC, 2013).

La **Germania** è il Paese europeo che più di altri si è dotato di un'organica normativa sugli odori, costituita da una legge quadro sulle emissioni (BundesImmissionschutzgesetz - BImSchG) a cui si affiancano le TA Luft (linee tecniche per la prevenzione dell'inquinamento dell'aria) e la Direttiva sugli odori GOAA (Guideline on Odour in Ambient Air), approvata dal Comitato dei Lander il 13 maggio 1998. Mentre le prime contengono prescrizioni di carattere generale e metodologico, in quest'ultima sono contenuti criteri e parametri specifici per il rilascio delle autorizzazioni e per la valutazione della compatibilità delle installazioni esistenti, includendo indicazioni relative alle modalità di valutazione delle sostanze osmogene e indicando i requisiti di qualità dell'aria, rispetto a tali sostanze, distinti per aree industriali e aree residenziali. I requisiti di qualità dell'aria sono espressi in termini di “massima frequenza di odore”, intendendo

con questa la frequenza relativa di ore con odore chiaramente percepibile. I limiti di immissione sono quelli riportati in Tabella 3.1; il valore 0,10 significa, ad esempio, che in un'area residenziale la qualità dell'aria ambiente deve essere tale che le ore in cui l'odore risulta chiaramente percepibile non devono risultare superiori al 10% del totale, oltre tale valore il disturbo causato viene considerato rilevante. La GOAA descrive un sistema completo di metodologie di calcolo e di misura della molestia olfattiva, tenendo presente che l'effetto non è dipendente solo dalla sua concentrazione, ma anche dal tono edonico, utilizzando diversi parametri per caratterizzare l'odore basati sul tono edonico (GOAA, 2008).

**Tabella 3.1: Limite delle immissioni di odore (frequenza relativa di ore di odore).**

Aree residenziali e miste	Aree commerciali e industriali	Villaggi
0,10	0,15	0,15

Nella TA Luft si trovano prescrizioni in merito a:

- distanze minime dalle aree residenziali e dalle foreste delle sorgenti;
- obbligo di confinamento delle fasi odorigene;
- adeguate modalità di stoccaggio per i materiali grezzi, i prodotti e i rifiuti;
- avvio delle emissioni fortemente odorigene a sistemi di abbattimento.

La stessa legge rimanda poi in merito a specifici argomenti alle linee guida prodotte dalla VDI (The Association Engineers, Germany). In Tabella 3.2 sono riportate le principali norme VDI in materia di odori (Sberveglieri, 2003).

**Tabella 3.2: Norme VDI in materia di odori.**

Norma	Campo di applicazione
VDI 3475	Controllo delle emissioni nel trattamento degli scarti biologici; compostaggio e digestione anaerobica.
VDI 3477	Depurazione biologica dei gas Bioscrubber e trickle bed.
VDI 3478	Effetti e distribuzione degli odori.
VDI 3881-3882	Effetti e distribuzione degli odori.
VDI 3883	Determinazione dei parametri di fastidio con questionari.
VDI 3940	Modalità di misura delle immissioni.

Le linee guida dell'Agenzia Ambientale del **Regno Unito** (UK-EA) "H4. Hodour Management" assumono come livello indicativo di riferimento per "*moderately offensive odours*" la concentrazione di odore di 3 OU/m<sup>3</sup> come 98° percentile.

L'approccio **olandese** al problema odori è interessante perché è volto soprattutto a limitare i problemi e le resistenze da parte delle comunità locali. La molestia nei confronti delle popolazioni che devono affrontare problemi di odore viene valutata mediante un metodo basato



sull'impiego di una giuria costituita da persone residenti nelle vicinanze dell'impianto da cui provengono le molestie olfattive. I componenti della giuria sono invitati ad annusare l'aria della zona in un giorno preciso, ad un'ora precisa e a riferire se percepiscono odore. In caso affermativo, sono tenute a classificarlo in una scala che va da "non molesto" a "estremamente molesto". Questo metodo permette, dopo un anno, di stabilire un indice (varia da 5, non c'è una reale molestia a 90 in cui sono necessarie nuove azioni di abbattimento) di molestia olfattiva. Tali valori guida sono però puramente indicativi. Il limite per gli impianti esistenti è di 1 OU/m<sup>3</sup> da non superarsi per più del 2% del tempo in prossimità delle più vicine zone residenziali e dello 0,5% del tempo per i nuovi impianti. Questo limite può essere innalzato a 5 OU/m<sup>3</sup> per grandi sorgenti areali. La prescrizione può essere anche verificata sulla base della misura delle emissioni alla sorgente per via olfattometrica, in combinazione con modelli di dispersione (Sberveglieri, 2003).

In diversi altri paesi Europei come Francia, Austria, Svizzera, Belgio, esistono una serie di provvedimenti che vietano l'emissione di odori, ma non una normativa specifica.

### **3.3 *NORMATIVA ITALIANA***

La normativa Italiana vigente disciplina solo le emissioni di sostanze odorigene tossiche come ammoniaca e acido solfidrico, ma non prevede alcuna limitazione relativamente alle emissioni di sostanze odorigene in genere (Bruno et al., 2003); tuttavia, essa contiene diversi riferimenti al problema della prevenzione e del contenimento delle molestie olfattive derivanti da attività produttive e di gestione dei rifiuti.

Nella parte quinta del T.U.A. (Testo Unico Ambientale, rappresentato dal D.lgs. del 3 aprile 2006 n. 152), "norme in materia di tutela dell'aria e riduzione delle emissioni in atmosfera" viene data una definizione di inquinamento atmosferico: art. 268 c.1 lettera a) "*ogni modificazione dell'aria atmosferica, dovuta all'introduzione nella stessa di una o di più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da ledere o da costituire un pericolo per la salute umana o per la qualità dell'ambiente oppure tali da ledere i beni materiali o compromettere gli usi legittimi dell'ambiente*". Pertanto, pur non parlando espressamente dell'odore, la definizione di "inquinamento atmosferico" indirettamente lo considera, poiché certamente la molestia olfattiva può "compromettere gli usi legittimi dell'ambiente". Questo vuoto normativo attuale obbliga il proponente e l'Autorità competente a eseguire valutazioni caso per caso.

Nella parte quarta del T.U.A. "norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinanti", all'art. 177 comma 4, invece si legge: "*I rifiuti sono gestiti senza pericolo per la salute dell'uomo e senza usare procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizio all'ambiente e, in particolare:*

- a) senza determinare rischi per l'acqua, l'aria, il suolo, nonché per la fauna e la flora;
- b) senza causare inconvenienti da rumori o odori;
- c) senza danneggiare il paesaggio e i siti di particolare interesse, tutelati in base alla normativa vigente.”

Si nota quindi che anche in materia di gestione di rifiuti si parla di limitare le emissioni odorose che possono scaturire dalle varie operazioni, ma comunque non vengono dati dei limiti precisi, ed il legislatore dal punto di vista quantitativo non si esprime.

Anche nella normativa sanitaria si trovano limitazioni alle emissioni di sostanze odorigene, in particolare negli art. 216 del RD 27 luglio 1934 n. 1265 si legge: *“Le manifatture o fabbriche che producono vapori, gas o altre esalazioni insalubri o che possono riuscire in altro modo pericolose alla salute degli abitanti sono indicate in un elenco diviso in due classi. La prima classe comprende quelle che debbono essere isolate nelle campagne e tenute lontane dalle abitazioni; la seconda quelle che esigono speciali cautele per la incolumità del vicinato. [...] Una industria o manifattura la quale sia iscritta nella prima classe, può essere permessa nell'abitato, quante volte l'industriale che l'esercita provi che, per l'introduzione di nuovi metodi o speciali cautele, il suo esercizio non reca nocimento alla salute del vicinato.”* Mentre nell'art. n.217: *“Quando vapori, gas o altre esalazioni, scoli di acque, rifiuti solidi o liquidi provenienti da manifatture o fabbriche, possono riuscire di pericolo o di danno per la salute pubblica, il podestà prescrive le norme da applicare per prevenire o impedire il danno o il pericolo e si assicura della loro esecuzione ed efficienza. [...]”* Anche in questi due articoli il legislatore ha l'intenzione di limitare le “esalazioni insalubri”, ma non da nessun riferimento di tipo quantitativo, si avverte soltanto la tendenza ad assicurare, degli effetti accettabili sulla popolazione.

Infine rimangono da citare l'art. 674 del codice penale e l'art. 844 del codice civile; il primo riguarda il “getto di cose pericolose” e afferma: *“Chiunque getta o versa, in un luogo di pubblico transito o in un luogo privato ma di comune o di altrui uso, cose atte a offendere o imbrattare o molestare persone, ovvero, nei casi non consentiti dalla legge, provoca emissioni di gas, di vapori o di fumo, atti a cagionare tali effetti, è punito con l'arresto fino a un mese o con l'ammenda fino a duecentosei euro.”* Si nota anche qui l'intenzione di proteggere l'incolumità pubblica dal gettare o versare sostanze atte ad offendere o imbrattare o molestare persone, nei casi non consentiti dalla legge, pertanto non basta che le emissioni siano idonee ad arrecare fastidio, ma è indispensabile la dimostrazione che esse superino gli standard fissati dalla legge nel D.lgs. 152/2006.

L'art. 844 del codice civile si preoccupa della difesa della proprietà fondiaria e afferma: *“Il proprietario di un fondo non può impedire le immissioni di fumo o di calore, le esalazioni, i rumori, gli scuotimenti e simili propagazioni derivanti dal fondo del vicino, se non superano la normale tollerabilità, avuto anche riguardo alla condizione dei luoghi. Nell'applicare questa norma l'autorità giudiziaria deve contemperare le esigenze della produzione con le ragioni della proprietà. Può tener conto della priorità di un determinato uso”*. In ambito civile, occorre quindi attuare anche un'analisi della zona in cui è sito lo stabilimento fonte dell'emissione oltre al fatto di verificare se questa rispetta o meno i limiti di legge (Pivetta, 2012).

### **3.4 *NORMATIVA REGIONALE – LE LINEE GUIDA DELLA LOMBARDIA***

La crescente sensibilità della popolazione, la presenza di territori fortemente antropizzati, lo sviluppo della normativa ambientale e l'evoluzione della normativa tecnica, assieme alla mancanza di un strumento normativo nazionale, hanno portato alla definizione da parte di alcune regioni (Lombardia, Veneto, Basilicata, Sicilia e Puglia) di deliberare e/o linee guida sulla regolamentazione delle emissioni odorigene.

In generale quasi tutte le normative in materia si focalizzano principalmente sulla valutazione delle immissioni (concentrazioni presso i recettori), piuttosto che sulla misura delle emissioni; questo al fine di garantire un approccio maggiormente rispettoso dell'ambiente, in relazione al fatto che i recettori sono anche i sensori capaci di avvertire immediatamente il disturbo.

Con le linee guida (LG) della Regione Lombardia (D.g.r. 15 febbraio 2012 - n. IX/3018. Determinazioni generali in merito alla caratterizzazione delle emissioni gassose in atmosfera derivanti da attività a forte impatto odorigeno) le immissioni non sono determinate tramite misure al recettore perché ciò comporta notevoli difficoltà: sia di tipo tecnico-analitico, a causa delle basse concentrazioni riscontrabili in termini di unità olfattometriche, sia in relazione alla complessità, in molti casi, di trovare una corrispondenza causa/effetto tra un'emissione e l'odore percepito al recettore. L'immissione viene, quindi, valutata mediante la simulazione delle ricadute delle emissioni effettuata utilizzando opportuni modelli di dispersione. Scopo delle LG è fornire indicazioni relative alla caratterizzazione delle emissioni odorigene, valutando in particolare gli effetti delle ricadute, le problematiche connesse al loro confinamento e la necessità di adottare impianti di abbattimento definendone le relative performance. Le LG si riferiscono a tutte le attività che, durante il loro esercizio, generano odore e che rientrano nel campo d'applicazione delle normative in materia di valutazione d'impatto ambientale (VIA), autorizzazione integrata ambientale (AIA) e autorizzazione alla gestione dei rifiuti.

Riguardo all'utilizzo dei modelli di dispersione, al fine di garantire risultati verosimili e riproducibili, l'allegato 1 descrive i requisiti del modello di calcolo (tipologia, dominio), degli

input (dati emissivi, meteo e orografici) e il formato dell'output della simulazione (mappe). Riguardo al tipo di modello da utilizzare per il calcolo della dispersione degli inquinanti, raccomanda modelli non stazionari a puff o a "traiettorie", modelli 3D lagrangiani (a puff o a particelle), modelli 3D euleriani. Relativamente agli input, e in particolare ai dati emissivi, se l'impianto è esistente devono essere utilizzati i dati derivanti da campionamenti olfattometrici in campo; diversamente, in caso di nuovi impianti o di modifiche, possono essere utilizzati dati di misure effettuate su impianti simili, o pilota, oppure derivanti da esperienze riportate in letteratura. Nello scenario emissivo elaborato come input alle simulazioni per la stima dell'impatto olfattivo devono essere considerate tutte le emissioni dell'impianto oggetto dello studio (convogliate, diffuse o fuggitive) per le quali la portata di odore o Odour Emission Rate (OER), sia maggiore di 500 OU/s, a eccezione delle sorgenti per le quali, quale che sia la portata volumetrica emessa, la concentrazione di odore massima misurata durante il campionamento sia inferiore a 80 OU/m<sup>3</sup>. La valutazione dell'OER dipende dalla tipologia della sorgente; l'allegato 2, al riguardo, riporta le metodiche di campionamento da utilizzare nelle varie casistiche (sorgenti puntuali, volumetriche o areali). Le LG non fissano un valore limite unico per l'esposizione olfattiva ma richiedono che i risultati delle simulazioni di dispersione siano presentati mediante mappe d'impatto nelle quali andranno riportate le isolinee di concentrazione orarie di picco di odore<sup>1</sup> al 98° percentile su base annua, così come risultanti dalla simulazione a 1, 3 e 5 OU/m<sup>3</sup>. Una volta determinata l'impronta odorigena dell'attività, si dovrà valutare la tollerabilità; ossia, che l'emissione non vada a impattare in maniera significativa sulla zona e soprattutto che non ne pregiudichi l'utilizzo in accordo con lo strumento di programmazione territoriale adottato. La valutazione deve tener conto non solo della destinazione d'uso del territorio e della presenza di potenziali recettori ma anche delle caratteristiche dell'odore di fondo (D.g.r. n. IX/3018, 2012; Cusano, 2012)

I due principali metodi per determinare la concentrazione di odore (Olfattometria dinamica e Triangle Odor Bag Method), mostrano risultati comparabili tra loro, specialmente per le sorgenti con maggiore concentrazione; l'olfattometria dinamica mostra meno affidabilità e ripetibilità delle misure per campioni con concentrazioni più basse, contro il metodo TOBM, tuttavia l'attuazione di quest'ultimo metodo richiede costi maggiori e tempi di analisi più lunghi per la preparazione e per il numero di campioni da analizzare (Naddeo et al., 2015).

---

<sup>1</sup> concentrazione che in un'ora è oltrepassata con probabilità 10<sup>-3</sup>, cioè per più di 3,6 secondi; le concentrazioni medie orarie restituite dal modello vengono moltiplicate per un coefficiente sperimentale ("peak-to-mean ratio") pari a 2,3 (paragrafo 6.1.2). Nel caso di LAPMOD, utilizzando il modulo specifico per gli odori il peak-to-mean viene modulato in base alle classi di stabilità di Paquill-Gifford (paragrafo 6.3.2).

## 4 TECNICHE DI CAMPIONAMENTO E ANALISI DEI COMPOSTI ODORIGENI

### 4.1 IL PROBLEMA DELLA QUANTIFICAZIONE DEGLI ODORI

Gli odori sono uno dei maggiori problemi che diversi tipi di impianti industriali si trovano ad affrontare nei confronti degli insediamenti abitativi e/o produttivi limitrofi, sia per impianti già esistenti che in fase di progetto, in particolare per talune tipologie di attività (paragrafo 2.6). Visto il numero delle tipologie industriali che potrebbero creare problemi di molestia olfattiva sull'area limitrofa e la loro abbondanza relativa sul territorio, gli organismi pubblici di tutela ambientale hanno sempre maggiore necessità di avere un mezzo che permetta loro di determinare qualitativamente e quantitativamente l'eventuale disagio che la realtà industriale potrebbe causare al cittadino.

La valutazione dell'impatto da odori può essere effettuata a partire dalle emissioni e/o mediante analisi dirette in campo. Nel primo caso, caratterizzate le emissioni e calcolati i flussi di odore (OER) in funzione della tipologia di sorgente, si applicano i modelli di dispersione in atmosfera per determinare l'entità del disturbo olfattivo a cui è esposta la popolazione situata nei dintorni delle sorgenti emissive. Tale metodologia richiede numerosi parametri di input ai modelli, non sempre agevoli da reperire. Inoltre, allo stato attuale della ricerca tecnico-scientifica, la determinazione dei parametri emissivi in ingresso ai modelli è effettuata quasi esclusivamente utilizzando analisi sensoriali di olfattometria dinamica, che prevede a monte una fase di campionamento in situ. Nel secondo caso, invece, l'area di impatto da odore è determinata attraverso analisi effettuate direttamente in campo. In particolare, le principali tecniche utilizzate sono quelle delle ispezioni in campo, questionari sociologici. Altro approccio, di recente applicazione e sperimentazione, consiste nel monitoraggio delle molestie olfattive tramite sistemi di rilevazione in continuo degli odori. La quantificazione delle molestie olfattive si può quindi effettuare tramite (per ulteriori approfondimenti vedere paragrafo 4.3):

- 1 Misure analitiche: quantificano qualitativamente e quantitativamente la composizione di una miscela di analiti utilizzando tecniche di separazione e identificazione analitica come, ad esempio, gas cromatografia accoppiata a spettrometria di massa. Questa tecnica ha il vantaggio di essere consolidata e considerata oggettiva oltre che ripetibile e accurata. Il principale problema di questa tecnica si riscontra quando le miscele costituenti gli odori sono complesse.
- 2 Misure sensoriali: metodi, come l'olfattometria dinamica, che impiegano il naso umano come sensore e di conseguenza, si riferiscono direttamente alle sensazioni che gli odori provocano nelle persone. Il limite maggiore è dato dalla soggettività delle sensazioni, che

tuttavia si può superare con l'impiego di panel i cui membri hanno olfatto standardizzato da una norma specifica (UNI EN 13725, 2003). Permettono una misurazione puntuale, la quale può dipendere da fattori esterni come, per esempio, le condizioni ambientali (umidità, vento ecc.); inoltre si possono presentare casi in cui il campione di aria da sottoporre al panel debba essere raccolto in ambienti in cui siano presenti livelli di tossicità dannosi sia per l'operatore che per il panel.

- 3 Misure senso-strumentali: utilizzano “nasi artificiali” che svolgono, per via strumentale, le funzioni del senso dell'olfatto. I nasi elettronici sono sistemi complessi caratterizzati da una struttura simile a quella del sistema olfattivo umano. Una matrice di sensori a bassa selettività fornisce una firma caratteristica di una miscela chimica che viene successivamente classificata sulla base delle conoscenze acquisite in una fase di addestramento del sistema. Le prestazioni di questi strumenti dipendono in maniera critica da tutte le scelte progettuali: caratteristiche dei sensori, struttura del sistema di misura e algoritmi di classificazione. Tale tecnologia è ampiamente utilizzata nel riconoscimento degli odori in campo alimentare, mentre non è ancora sviluppata diffusamente in campo ambientale. Caratteristica fondamentale è la possibilità di avere un'analisi continuativa in campo, superando così sia i limiti imposti da una misurazione puntuale come l'olfattometria dinamica, sia eventuali problemi dovuti alla presenza di tossicità nell'ambiente.

## ***4.2 IL CAMPIONAMENTO***

Al fine di determinare le emissioni dalle sorgenti odorogene principali è necessario predisporre un piano di monitoraggio, in modo tale che le singole analisi consentano di ottenere il maggior numero di informazioni significative riguardo all'impatto olfattivo dell'impianto, evitando errori o repliche inutili nelle misurazioni. Campionamenti e analisi devono essere condotti al fine di ottenere risultati rappresentativi delle emissioni dell'impianto monitorato. A tale scopo è importante procurarsi sufficienti informazioni sull'impianto e sulle sue emissioni prima del campionamento. Innanzi tutto, un'approfondita conoscenza ed analisi del ciclo produttivo e di tutte le attività dell'impianto sono fondamentali al fine di individuare le principali sorgenti odorogene dello stesso. L'individuazione dei punti di campionamento precedentemente al prelievo dei campioni è molto importante anche a fini logistici e di organizzazione dei prelievi stessi. In alcuni casi potrebbe, infatti, essere necessario l'impiego di accorgimenti specifici allo scopo di rendere possibili o facilitare le operazioni di campionamento (realizzazione di prese campione, predisposizione di mezzi sicuri per raggiungere punti di campionamento poco agibili, utilizzo di specifiche attrezzature di campionamento ecc.). Per questi motivi è necessario, nel corso della pianificazione di un monitoraggio olfattometrico, l'effettuazione di un sopralluogo

presso l'impianto da monitorare e la successiva stesura di un verbale di sopralluogo in cui vengano individuati tutti i punti di campionamento con eventuali annotazioni sulle modalità di prelievo (D.g.r. n. IX/3018, 2012).

Il campionamento rappresenta la fase più critica dell'intera strategia di analisi per la maggior parte delle indagini ambientali, principalmente per due motivi:

- 1 spesso si incontrano notevoli difficoltà nel pianificare un campionamento effettivamente rappresentativo del fenomeno in esame, specie quando le informazioni a disposizione sono scarse o inattendibili o quando il sistema presenta elevata complessità o variabilità spaziale e temporale. Per questo, prima di procedere con l'analisi vera e propria, è opportuno raccogliere tutti i dati disponibili sul caso, ed eventualmente effettuare misure e valutazioni preliminari;
- 2 le numerose fasi di manipolazione dei campioni, il loro contatto con la strumentazione di prelievo, l'esposizione all'aria, alla luce o ad altri agenti, rappresentano potenziali fonti di contaminazione. Se i campioni non conservano la composizione e le proprietà chimico-fisiche originali, i risultati delle analisi possono risultare alterati. È necessario quindi scegliere accuratamente la strumentazione, in modo che i materiali siano compatibili con le sostanze da determinare, e fare eventualmente ricorso a vari metodi di stabilizzazione e conservazione dei campioni (Nollet e Leo, 2000).

Entrambi i fattori di criticità descritti risultano amplificati nel caso della misura degli odori. Infatti, le sorgenti odorogene, soprattutto quelle diffuse, sono spesso molto complesse, variabili e fortemente dipendenti dalle condizioni meteorologiche, rendendo così estremamente difficile effettuare campionamenti razionali e rappresentativi. Inoltre, è noto che l'odore caratteristico di un effluente dipende strettamente dai rapporti di concentrazione tra i singoli componenti odorogeni, la maggior parte dei quali sono presenti a concentrazioni molto basse. Diventa, quindi, particolarmente importante, e allo stesso tempo difficile, mantenere inalterata la composizione originale del campione (Freeman et al., 2000).

La tecnica di campionamento varia in funzione della tipologia di sorgente emissiva; in particolare si distinguono 4 tipologie di sorgenti (D.g.r. n. IX/3018, 2012):

#### **4.2.1 Sorgenti puntuali**

In una sorgente puntuale l'odore è emesso da un singolo punto, normalmente in maniera controllata attraverso un camino. In questo caso il campionamento consiste nel prelievo di una frazione dell'aeriforme convogliato. Se l'aeriforme da campionare è in pressione, il prelievo può essere condotto in maniera diretta, inserendo il sacchetto di campionamento all'interno del condotto; altrimenti, il prelievo deve essere condotto creando una depressione; a tale scopo il

sacchetto deve essere inserito in un opportuno contenitore. L'aria all'interno del contenitore viene aspirata mediante una pompa. A causa della depressione così realizzata l'aeriforme è aspirato all'interno del sacchetto di campionamento in maniera indiretta (Figura 4.1). Il contenitore utilizzato deve essere a tenuta, al fine di evitare l'ingresso di aria falsa. Il vantaggio di questa procedura è che l'aeriforme da campionare non entra in contatto con la pompa. Il punto di prelievo dovrebbe essere posizionato su una sezione di misura scelta in modo tale che la velocità su tale sezione sia il più possibile uniforme. I sacchetti di campionamento possono essere condizionati prima del prelievo. A tale scopo essi vengono riempiti con l'aeriforme da campionare e poi svuotati. Nel caso di sorgente puntuale, è possibile calcolare il flusso gassoso in uscita misurando la velocità dell'aria e la sezione trasversale del condotto.

L'OER è calcolato come segue:

$$OER = Q_{effl} \times C_{od}$$

$OER$  = portata di odore (OU/s)

$Q_{effl}$  = portata volumetrica dell'effluente ( $m^3/s$ )

$c_{od}$  = concentrazione di odore misurata ( $OU/m^3$ )

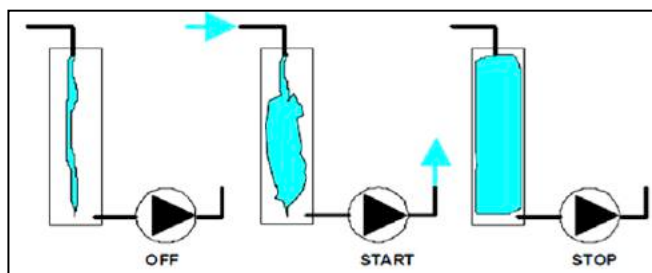


Figura 4.1: Schema di campionamento con pompa a depressione.

#### 4.2.2 Sorgenti volumetriche

Le sorgenti volumetriche sono tipicamente degli edifici dai quali fuoriescono degli odori, sia intenzionalmente, attraverso condotti a ventilazione naturale, sia non intenzionalmente, attraverso porte, finestre o altre aperture. La stima dell'OER in questi casi è complicata, in quanto è difficile misurare una concentrazione di odore rappresentativa e generalmente non è possibile definire un flusso preciso. Per effettuare una valutazione dell'OER si deve cercare di misurare la velocità dell'aria in corrispondenza delle aperture, oppure stimare la portata gassosa che fuoriesce dall'edificio mediante l'utilizzo di opportuni gas traccianti. L'OER di odore viene poi calcolato con la stessa formula delle sorgenti puntuali, dove il  $Q_{effl}$  è la portata dell'effluente uscente dall'edificio ( $m^3/s$ ).

#### 4.2.3 Sorgenti areali

Nel caso di sorgenti areali si hanno tipicamente delle emissioni da superfici solide o liquide piuttosto estese. Si possono distinguere due diversi tipi di superfici emissive areali:

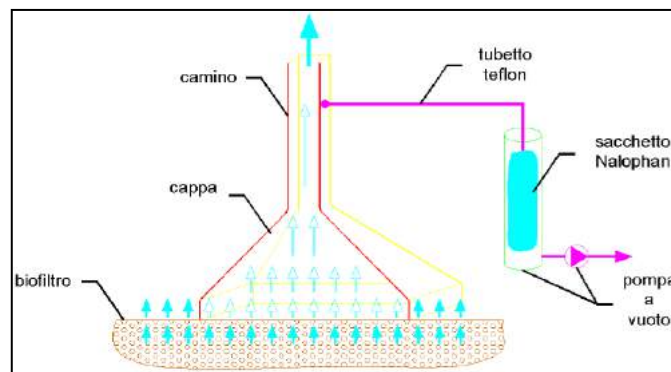


- con flusso indotto (attive): sono sorgenti con un flusso di aria uscente (biofiltri o cumuli areati);
- senza flusso indotto (passive): l'unico flusso presente è quello dovuto al trasferimento di materia dalla superficie all'aria sovrastante. Esempio di questo tipo sono le discariche, e le vasche degli impianti di depurazione acque reflue.

Il limite fra sorgenti areali attive e passive è fissato per convenzione ad un flusso volumetrico specifico pari a  $50 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ .

### ***Sorgenti areali attive***

In questo caso per il campionamento si utilizza una cappa "statica" che isola una parte di superficie e permette di convogliare il flusso nel condotto di uscita della cappa, dove viene prelevato il campione, con le stesse modalità adottate per il campionamento da sorgente puntiforme.



**Figura 4.2: Schema di campionamento da sorgente areale attiva (biofiltro).**

La cappa statica è costituita da due corpi di cui il primo è un tronco di piramide o cono cavo con base di area nota (ed es.  $1 \text{ m}^2$ ) e il secondo, sormontante il primo, è un camino di espulsione cilindrico avente un diametro compreso fra 10 e 20 cm. Sul condotto di uscita della cappa sono predisposte delle aperture per consentire il prelievo del campione e la misura dei parametri fisici dell'emissione.

Per il prelievo, la cappa deve essere posta sulla superficie emittente con lo scopo di isolare il punto di prelievo dall'atmosfera esterna ed in particolare evitando che il vento diluisca il gas emesso prima che esso sia aspirato dal sacchetto di prelievo. Ciascun campione di gas odorigeno viene prelevato inserendo il tubo del sacchetto di campionamento nella bocchetta d'ispezione, dopo aver atteso un tempo sufficiente affinché il flusso odorigeno abbia riempito internamente l'intero corpo della cappa. La bocchetta di ispezione dalla quale viene prelevato il campione è utilizzata anche per l'inserimento delle sonde necessarie alla determinazione dei parametri fisici dell'emissione, quali temperatura, umidità relativa e velocità. In particolare, la determinazione

della velocità di efflusso consente di valutare la distribuzione del flusso attraverso l'intera superficie emissiva. E' importante sottolineare che le velocità di efflusso misurate in uscita da una sorgente areale attiva non devono essere utilizzate per la determinazione della portata dell'effluente.

La verifica dell'uniformità del flusso attraverso la superficie emissiva è importante al fine di definire la concentrazione di odore media emessa, ossia il valore medio che, moltiplicato per la portata dell'effluente, dà la portata di odore. Si distinguono due casi possibili:

- 1) sorgenti areali attive con distribuzione del flusso omogenea. Sono sorgenti per cui le velocità di efflusso misurate sulle diverse superfici parziali differiscono al massimo di un fattore 2. In questi casi la concentrazione di odore media è ottenuta come media geometrica delle concentrazioni dei singoli campioni, in accordo con la formula seguente:

$$C_{od} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n C_i}$$

$C_{od}$  = concentrazione di odore media (OU/m<sup>3</sup>)

$C_i$  = concentrazione di odore misurata sulla i-esima superficie parziale (OU/m<sup>3</sup>)

- 2) sorgenti areali attive con distribuzione del flusso non omogenea. In questo caso le velocità di efflusso misurate sulle diverse superfici parziali differiscono di un fattore superiore a 2. La concentrazione di odore media è calcolata come media geometrica pesata, in accordo con la formula seguente:

$$C_{od} = \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n (C_i \cdot v_i)}}{\sum_{i=1}^n v_i}$$

$C_{od}$  = concentrazione di odore media (OU/m<sup>3</sup>)

$C_i$  = concentrazione di odore misurata sulla i-esima superficie parziale (OU/m<sup>3</sup>)

$v_i$  = velocità di efflusso misurata sulla i-esima superficie parziale (m/s)

### ***Sorgenti areali passive***

La stima dell'OER per queste sorgenti risulta essere piuttosto complicato, in quanto è difficile misurare una concentrazione di odore rappresentativa, e soprattutto determinare una portata di aria ben definita. Per queste ragioni al fine di valutare l'OER è necessario impiegare dei metodi particolari di campionamento denominati metodi a cappa. Il principio sul quale si basano tali metodi è quello di isolare una parte della superficie emissiva con una cappa e di misurare la concentrazione di odore all'uscita da essa (Figura 4.3).

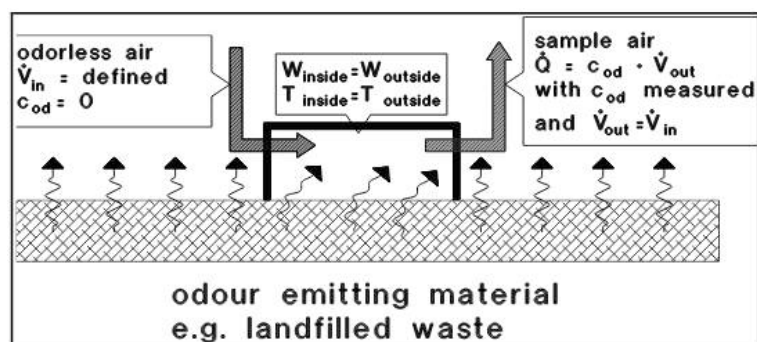


Figura 4.3: Schema di funzionamento di una cappa per il campionamento da superfici areali passive.

Per la valutazione dell'OER è necessario passare attraverso il calcolo di un altro parametro significativo, ossia il flusso specifico di odore (SOER – Specific Odour Emission Rate), espresso in unità odorimetriche emesse per unità di superficie e di tempo (OU/m<sup>2</sup>/s).

$$SOER = \frac{Q_{effl} \cdot C_{od}}{A_{base}}$$

*SOER* = flusso specifico di odore (OU/m<sup>2</sup>/s)

*Q<sub>effl</sub>* = portata volumetrica di aria uscente dalla cappa (m<sup>3</sup>/s)

*C<sub>od</sub>* = concentrazione di odore misurata (OU/m<sup>3</sup>)

*A<sub>base</sub>* = area di base della cappa (m<sup>2</sup>)

Infine, per calcolare l'OER è sufficiente moltiplicare il SOER per la superficie emissiva, cioè la superficie totale della sorgente considerata:

$$OER = SOER \cdot A_{emiss}$$

*OER* = portata di odore (OU/s)

*SOER* = flusso specifico di odore (OU/m<sup>2</sup>/s)

*A<sub>emiss</sub>* = superficie emissiva (m<sup>2</sup>)

Per avere dei risultati che rappresentino la situazione reale, le cappe devono essere utilizzate prestando attenzione ad alcuni aspetti: esse infatti isolano dall'ambiente esterno una porzione della superficie emissiva, e di conseguenza potrebbero alterare l'emissività di tale porzione. Ad esempio una variazione di pressione all'interno della cappa potrebbe sopprimere o favorire l'emissione di odoranti. Per questo motivo è necessario eseguire il prelievo dopo aver lasciato passare un tempo sufficiente dopo il posizionamento della cappa stessa, variabile in funzione delle caratteristiche della cappa. Per il campionamento da questa tipologia di sorgenti è consigliabile l'utilizzo di cappe di tipo Wind Tunnel (galleria del vento). Il sistema wind tunnel è disegnato per simulare la condizione atmosferica di flusso parallelo senza rimescolamento verticale: una corrente di aria orizzontale nota passante sulla superficie raccoglie i composti

odorigeni volatilizzati provocando un'emissione di odore. Il principio di funzionamento è basato in modo che una corrente di aria neutra è introdotta nella cappa a velocità nota; sulla base di considerazioni di tipo fisico è possibile dimostrare che il trasferimento di massa dalla superficie liquida (o solida) da campionare alla fase gassosa, e di conseguenza la concentrazione di odore misurata all'uscita della cappa, il SOER e l'OER sono funzione della velocità dell'aria sotto cappa. In particolare, si può dimostrare che:

$$C_{od} \propto V^{-n}$$

$$SOER, OER \propto V^n$$

$C_{od}$  = concentrazione di odore (OU/m<sup>3</sup>)

$SOER$  = flusso specifico di odore (OU/m<sup>2</sup>/s)

$OER$  = portata di odore (OU/s)

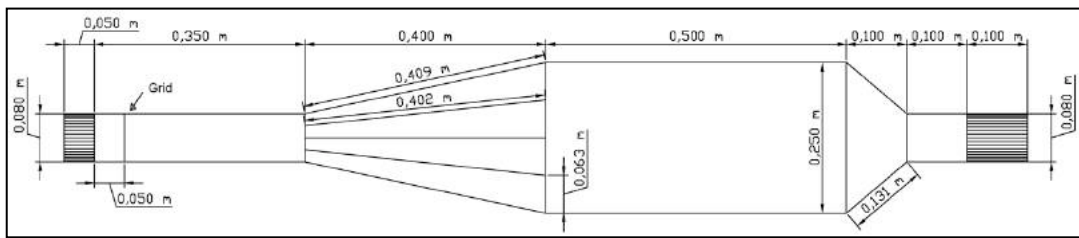
$V$  = velocità dell'aria inviata sotto cappa (m/s)

$n$  = esponente sperimentale

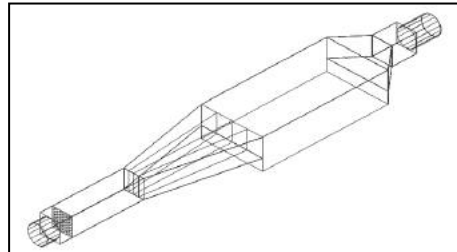
In particolare, per i liquidi è stato dimostrato che l'esponente  $n$  è pari a 0,5 (Bliss et al., 1995; Capelli et al., 2009). Secondo questa relazione è possibile osservare che la concentrazione di odore misurata in uscita dalla cappa decresce all'aumentare della velocità, ossia della portata inviata sotto cappa. Per questo motivo in fase di campionamento, in particolare su superfici relativamente poco emissive (vasche di ossidazione, superfici di lotti di discarica esauriti e chiusi), è necessario operare in condizioni tali da non far scendere i valori di concentrazione in uscita dalla cappa al di sotto di valori intorno alle 50-100 OU/m<sup>3</sup>. A tale scopo si consiglia di effettuare i campionamenti con portate sufficientemente basse, ossia che consentano di avere velocità sotto cappa di qualche centimetro al secondo (1-10 cm/s) (Frechen et al., 2004; Capelli et al., 2009).

Al di sopra della superficie emissiva avviene un trasferimento di massa convettivo. Gli odoranti si mescolano alla corrente gassosa e fuoriescono dal condotto di uscita dal quale viene prelevato il campione. Il vantaggio derivante dall'utilizzo di questa tecnica è che la misura è ottenibile in modo relativamente semplice ed economico. Il problema di questo sistema è che per poter correlare le misure sperimentali con la reale capacità emissiva della fonte di odore è necessario valutare l'aerodinamica della cappa. E' importante conoscere i profili di velocità all'interno della wind tunnel, al fine di poter esprimere le emissioni in funzione della velocità media sulla superficie monitorata.

A titolo esemplificativo, in Figura 4.4 è riportato la pianta di una wind tunnel, con le caratteristiche dimensionali della stessa e in Figura 4.5 è riportata la stessa cappa in vista tridimensionale (Capelli et al., 2009).



**Figura 4.4: Esempio di pianta di una wind tunnel.**



**Figura 4.5: Esempio di vista tridimensionale di una wind tunnel.**

Per quanto riguarda il numero di campioni da prelevare su una sorgente areale passiva, questo deve essere sufficiente ad ottenere un numero di dati rappresentativi delle caratteristiche emissive dell'intera sorgente. In generale, le sorgenti possono essere definite come segue:

- sorgenti areali passive omogenee (vasche movimentate): in questo caso può essere sufficiente il prelievo di un unico campione sull'intera superficie emissiva;
- sorgenti areali passive non omogenee (superfici di discarica): in questo caso il numero di campioni da prelevare sulla superficie emissiva deve essere aumentato in modo da ottenere una caratterizzazione esaustiva della sorgente stessa (ad esempio, nel caso di campionamento di cumuli di compost, l'individuazione dei punti di campionamento può essere basata sulla diversa età dei cumuli).

Lo scopo è quello di ottenere dei campioni rappresentativi, in modo tale che le successive prove in laboratorio possano dare una valida descrizione della reale molestia olfattiva.

Prima di effettuare il campionamento effettivo, i sacchetti vengono riempiti e svuotati più volte sul posto, affinché si raggiunga l'equilibrio adsorbimento/desorbimento sulle pareti degli stessi, della pompa e del condotto: in questo modo si assicura che il campione non vari la propria concentrazione durante lo stoccaggio. Il tempo fra il momento del campionamento e quello dell'analisi olfattometrica deve essere minimizzato con lo scopo di ridurre le possibilità di alterazioni del campione durante lo stoccaggio. L'intervallo tra il campionamento e la misurazione non deve comunque essere maggiore di 30 h. Durante il trasporto e la conservazione, i campioni devono essere mantenuti a meno di 25 °C. La temperatura, tuttavia, deve essere mantenuta sopra il punto di rugiada dei campioni, per evitare la formazione di

condensa. I campioni non devono essere esposti alla luce solare diretta o a intensa luce diurna, al fine di ridurre al minimo le reazioni (foto)chimiche e la diffusione (D.g.r. n. IX/3018, 2012).

### **4.3 L'ANALISI**

La misura degli odori costituisce lo step più difficile nelle procedure di caratterizzazione, proprio per le intrinseche caratteristiche soggettive delle sostanze odorigene, per la complessità delle miscele oggetto di studio e per i complessi fenomeni di dispersione a cui sono soggetti. I metodi presenti nella letteratura scientifica per l'indagine odorimetrica si possono suddividere in 3 grandi classi, la cui scelta dipenderà dallo scopo della misura, dalla frequenza di controllo, dalla posizione a cui l'odore è percepito, dal tipo di sorgente e dalla natura dell'emissione (sostanza singola o miscela) (Ziemacki e Settimo, 2007; D.g.r. n. IX/3018, 2012):

- metodi analitici o strumentali (gascromatografia/spettrometria di massa);
- metodi sensoriali che utilizzano soggetti umani per la rilevazione (olfattometria dinamica, questionari ed analisi in campo);
- senso-strumentali (GC-MS con porta ODP (Olfaction Detection Port) e naso elettronico).

#### **4.3.1 Gas cromatografia e spettrometria di massa**

La gas cromatografia unita a spettrometria di massa (GC/MS) è una tecnica chimico-analitica molto potente che permette di eseguire analisi accurate sulla composizione chimica di un dato campione gassoso. La GC è una tecnica altamente efficiente di separazione dei componenti di una miscela complessa, che, abbinata ad un rivelatore estremamente sensibile e selettivo come lo spettrometro di massa, consente l'identificazione e la quantificazione di praticamente tutte le specie chimiche presenti. Queste analisi forniscono quindi una lista completa delle concentrazioni di tutte le sostanze presenti nel campione odorigeno (Centola, 2000; Freeman et al., 2000). A causa della soglia generalmente bassa di percettibilità olfattiva degli odoranti, l'analisi diretta non è quasi mai effettuabile, ma è necessario un campionamento che implichi uno stadio di pre-concentrazione, questo viene realizzato facendo fluire un elevato volume di campione attraverso del materiale adsorbente o assorbente. È importante scegliere con attenzione il tipo di materiale adsorbente secondo il tipo di composti che si vogliono determinare. In seguito, in laboratorio, si esegue il desorbimento, per via termica o mediante l'uso di solventi. Il campione così trattato viene analizzato mediante GC-MS. La miscela, iniettata nella colonna cromatografica è fatta eluire mediante un gas inerte di trasporto (generalmente He), viene separata nei vari componenti in base alla loro diversa affinità con il substrato che riveste internamente la colonna di separazione. Gli analiti maggiormente affini avranno tempi di ritenzione più lunghi, mentre quelli meno affini per la fase stazionaria saranno meno trattenuti e

quindi usciranno più velocemente. Questo permette di avere in uscita, per mezzo di un opportuno rivelatore, il cromatogramma, ovvero una sequenza di picchi la cui posizione sulle ascisse (tempo di ritenzione) indica la specie, mentre l'area di ciascun segnale è proporzionale alla quantità di sostanza eluita. Il rivelatore di maggior pregio (ma anche notevolmente costoso) da abbinare al gas cromatografo è senz'altro lo spettrometro di massa, strumento che esegue la frammentazione e ionizzazione, per via chimica o mediante un fascio di elettroni, di ciascun composto in uscita dalla colonna di separazione: una volta formati, i frammenti molecolari di ogni sostanza sono separati da un campo magnetico in base al loro rapporto carica/massa ed inviati ad un rivelatore; dalla combinazione dei vari ioni presenti si ricostruisce lo spettro di massa, caratteristico di ogni composto (Mugnani, 2003).

Le determinazioni di tipo analitico, per l'analisi degli odori, offrono i seguenti vantaggi:

- oggettività;
- riproducibilità e ripetibilità;
- accuratezza.

Hanno però alcuni svantaggi:

- per alcuni composti odorigeni a bassissima soglia olfattiva (mercaptani e altri solfuri, scatolo) si possono presentare comunque problemi di sensibilità della strumentazione analitica, dal momento che le concentrazioni che provocano odori percettibili possono essere inferiori al limite di rivelabilità strumentale;
- la calibrazione dei dispositivi strumentali con gli odoranti ambientali oggetto dell'analisi è spesso impossibile perché la loro composizione non è nota;
- nella maggior parte dei casi non esistono relazioni significative tra l'esatta composizione della miscela e la sensazione di odore che essa genera;
- costo elevato e tempi di analisi relativamente lunghi.

Le tecniche analitiche moderne costituiscono quindi potenti strumenti per l'esatta determinazione della composizione degli effluenti maleodoranti, consentendo l'identificazione e la quantificazione di praticamente tutte le specie chimiche presenti. Tuttavia, non forniscono alcuna informazione sulla sensazione complessiva di odore che le singole sostanze generano venendo rilevate ed interpretate tramite il senso dell'olfatto (Mugnani, 2003).

La caratterizzazione chimica delle emissioni odorigene risulta particolarmente utile nei seguenti casi: individuazione di molecole traccianti delle emissioni per l'identificazione delle sorgenti responsabili di un inquinamento odorigeno mediante analisi delle immissioni sul territorio (misurando i traccianti nella maggior parte dei casi è impossibile stabilire una correlazione tra l'intensità e la concentrazione di odore a causa del gran numero di sostanze diverse); valutazione

approssimata di un'emissione odorigena contenente anche sostanze irritanti, tossiche o nocive; identificazione delle sostanze odorigene più importanti di un'emissione osmogena per predisporre adeguati sistemi di abbattimento e per valutarne l'efficacia (Riganti, 2012).

L'integrazione dei risultati di analisi olfattometriche e chimiche consentono di ottenere un quadro completo ed oggettivo delle emissioni odorigene, dal punto di vista sia del livello di odore che delle specie chimiche presenti.

#### **4.3.2 Olfattometria dinamica**

L'olfattometria dinamica è una tecnica sensoriale basata sull'impiego della sensibilità olfattiva di un panel di valutatori, attraverso cui è possibile ottenere dei risultati significativi, in quanto direttamente correlati all'effetto generato dall'odore; questo metodo fornisce una misura oggettiva della sensazione generata da un odorante singolo o complesso (De Gennaro et al., 2007). 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 quantizzare una sensazione creando così un metodo per misurare la reale molestia olfattiva, comunque del tutto soggettiva (Sberveglieri et al., 2003).

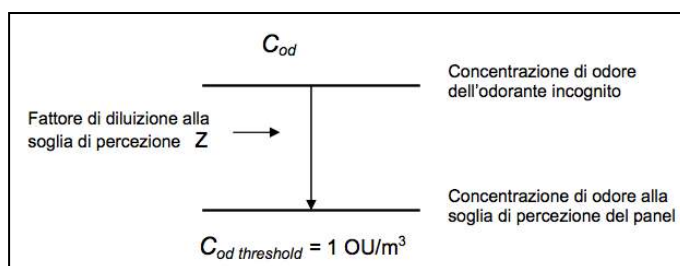
L'olfattometro è un apparato di diluizione che, attraverso un software di gestione dello strumento, opera la miscelazione del campione con aria neutra fornita dal compressore, secondo definiti rapporti, e la invia alle postazioni dei rinoanalisti per l'analisi. La diluizione del campione odorigeno presentato al valutatore avviene in modo decrescente per evitare che vi sia il rischio di un adattamento all'odore, che può causare una diminuzione temporanea della sua sensibilità.

La modalità di presentazione più comune adottata è costituita dal metodo SI/NO (dalla porta può uscire il campione odorigeno diluito con aria neutra, in un definito rapporto di diluizione oppure un bianco costituito dalla sola aria di riferimento, che serve come controllo; la Normativa Europea impone che in ogni serie di diluizioni siano inseriti almeno il 20% di bianchi), in cui l'esaminatore valuta il gas presentato da una porta specifica e segnala la presenza del campione odorigeno. L'analisi olfattometrica inizia impostando una diluizione piuttosto spinta del campione originale, tale che nessun esaminatore percepisca differenze con l'aria neutra. Le diluizioni successive sono impostate in modo che decrescano di un fattore di scala ( $F_s$ ), costante e caratteristico dello strumento, fino a che non si raggiunge la soglia olfattiva di percezione del panel, definita come la concentrazione minima di odorante percepita con una probabilità pari al 50%. Le risposte del panel sono acquisite ed elaborate statisticamente dal software che supporta l'olfattometro. La concentrazione di odore è numericamente uguale al fattore di diluizione alla soglia di percezione; ad esempio, una concentrazione pari a  $100 \text{ OU/m}^3$ , significa che il



campione originale è stato diluito di un fattore 100 per raggiungere la soglia del panel (De Gennaro et al., 2007). Per raggiungere la soglia del panel, il campione deve essere diluito  $Z$  volte secondo il fattore  $F_s$ , la concentrazione di odore iniziale nel campione ( $C_{od}$ ) sarà  $Z$  volte più alta di quella corrispondente alla soglia di percezione. Per definizione, la concentrazione di qualunque odorante singolo o complesso, corrispondente alla soglia di percezione, è pari a  $C_{od\ threshold} = 1\ OU/m^3$ , per cui la concentrazione di odorante nel campione originale sarà determinata mediante la semplice relazione:

$$C_{od} = Z \times C_{od\ threshold} = Z [OU/m^3]$$



**Figura 4.6: Principio del metodo olfattometrico.**

La relazione che collega la concentrazione in massa del gas di riferimento *n-butanolo* a quella di qualunque altro odorante in  $OU/m^3$  è valida solo alla soglia di percezione e, per questo, l'analisi olfattometrica procede alla presentazione di varie diluizioni del campione originale fino alla soglia del panel, dalla quale poi si ricava la concentrazione di odore iniziale. Il panel rappresenta il gruppo di valutatori qualificati per essere impiegati come "sensori" nell'analisi olfattometrica. La scelta dei panelist avviene secondo opportuni criteri (standardizzazione del panel: ossia non una scelta statistica, casuale, ma secondo opportuni criteri di selezione), considerando soggetti aventi una sensibilità olfattiva media per rappresentare la popolazione. La scelta viene fatta in termini di soglia di percezione verso un odorante di riferimento: *n-butanolo*. La selezione si basa sull'ipotesi di trasferibilità della risposta dei valutatori verso l'odorante di riferimento a qualunque altro odorante (Brattoli e De Gennaro, 2008). In questo senso (e non in senso strettamente statistico) si può ritenere il panel rappresentativo della sensibilità olfattiva media della popolazione (Walzer, 2001). Ogni individuo che abbia una soglia media personale per *n-butanolo* in aria neutra tra i 20 e 80 ppb e una deviazione standard logaritmica al di sotto di 2,3 può ritenersi idoneo (ampiezza di banda molto più ristretta della variabilità all'interno della popolazione). Una volta selezionati, inoltre, i panel vengono monitorati nel tempo (almeno dopo ogni 12 misure di odore) e devono chiaramente rispettare tali limiti per confermarsi membri del panel (UNI EN 13725, 2003).

Il secondo metodo è quello della "scelta forzata", questo viene applicato per olfattometri dotati di due o più porte di annusamento, delle quali solo una eroga il campione di odore, mentre dalla o

dalle altre fuoriesce aria di riferimento; la posizione dello stimolo viene distribuita casualmente tra le porte. In questo caso non è necessaria la somministrazione di bianchi perché il riferimento di aria neutra è sempre disponibile insieme al campione. Ogni valutatore a turno, è chiamato a prendere posto allo strumento e ad annusare il gas che fuoriesce dalle porte che ha di fronte, per indicare da quale di esse fuoriesce l'odorante. Nel caso in cui esso non riesca a distinguere l'odore o sia in dubbio, gli sarà comunque richiesto di indicare una porta a caso. In questo modo, se l'olfattometro ha  $n$  porte, finché la concentrazione di odore rimane sotto la soglia di percezione del panel, ogni porta sarà scelta con probabilità  $1/n$  perché la risposta dei panellist sarà sempre casuale, mentre, aumentando la concentrazione, la porta giusta verrà individuata con probabilità sempre maggiore fino a 1, quando tutti i valutatori hanno raggiunto la soglia e distinguono chiaramente l'odore. Per non dilungarsi troppo nei dettagli tecnici, per ulteriori informazioni vedere Normativa Tecnica UNI EN 13725.

### **4.3.3 Gas cromatografia accoppiata ad olfattometria**

La gas cromatografia olfattometrica accoppiata alla spettrometria di massa, GC/MS-O, è una tecnica ibrida che coniuga il potere separativo della GC con le potenzialità percettive del naso umano, in grado di distinguere in maniera specifica e selettiva gli odori. Permette di individuare, all'interno di un dato campione, le sostanze più rilevanti dal punto di vista olfattivo. In tale procedimento è l'uomo a percepire direttamente gli odori. Sfruttando il naso umano, cioè il più sensibile strumento atto al riconoscimento degli odori, e con il supporto dello spettrometro di massa si riesce ad attribuire al composto in analisi la struttura chimica corretta. In questo modo si può valutare il contributo odoroso di ciascuno dei componenti volatili presenti nella miscela e localizzare, sul tracciato di un cromatogramma, i composti a maggiore attività odorigena. Il vantaggio più importante della GCO è quello di consentire l'identificazione dei componenti di una miscela odorigena con contributo maggiore all'odore complessivo, e quindi di valutare il potenziale odorigeno delle varie classi di sostanze ed eventuali effetti mascheranti o sinergici tra i diversi odoranti. Uno dei principali svantaggi del metodo è che la scomposizione della miscela iniziale nelle sue componenti non consente più di valutare gli effetti complessivi dati dalla sovrapposizione di tutte le singole specie. La metodologia è ancora in fase di definizione ma potrebbe avere sviluppi interessanti anche per quanto riguarda le applicazioni ambientali (Centola, 2000; Leland et al., 2001; Benzo e Bonsanto, 2014).

### **4.3.4 Naso elettronico**

Negli ultimi decenni la ricerca scientifica ha indirizzato i suoi sforzi verso lo sviluppo di una nuova tecnologia, chiamata comunemente "*naso elettronico*", termine generico per indicare un

tipo di dispositivo ideato con l'intento di emulare il funzionamento del sistema olfattivo biologico (Di Francesco et al., 2001). L'analizzatore sensoriale si basa sull'impiego di una matrice di sensori chimici (polimeri conduttori, semiconduttori), a specificità parziale, che sono in grado di rispondere ai composti volatili presenti in un campione gassoso, modificando un qualche parametro fisico (resistenza elettrica, frequenza di oscillazione, funzione di lavoro). I sensori vengono esposti alla miscela odorigena e la loro risposta viene "letta" attraverso un opportuno sistema elettronico. Questo si interfaccia con un PC dove vengono trattati ed elaborati i segnali, per fornire infine la cosiddetta impronta caratteristica dell'odorante, in termini di specifica combinazione dei sensori attivati (tipo e numero). Il trattamento dell'informazione olfattiva avviene grazie a delle reti neurali, regolate da algoritmi che permettono di scegliere le informazioni ottenute dai diversi sensori e di memorizzare le differenti risposte. Questa fase di "apprendimento" ha lo scopo di far acquisire allo strumento una memoria che consentirà il riconoscimento di miscele incognite, confrontando l'impronta digitale estratta dal campione con quelle memorizzate in fase di "addestramento" del sistema (Pardo et al., 2000). Questa tecnologia permette di condurre analisi che forniscono una valutazione complessiva dell'odore, sia per odoranti singoli che miscele, senza però bisogno del panel umano (dopo la fase di "addestramento"), con evidenti vantaggi di oggettività e riproducibilità della misura, oltre che notevole risparmio di tempo e risorse (Di Francesco et al., 2001). Le applicazioni ambientali includono l'utilizzo del naso elettronico per affiancare o sostituire i gruppi di valutatori umani nel riconoscimento degli odori e nella determinazione di concentrazione, intensità e tono edonistico. Nella valutazione della molestia olfattiva, però, l'associazione della informazione elettronica a quella sensoriale del fastidio non può che avvenire sulla base di comparazioni tra la risposta dello strumento con quella dell'uomo. È quindi inevitabile una fase di "addestramento" del sistema basato sul confronto con misure olfattometriche. I sensori utilizzati nei nasi elettronici sono di tipo a semi-conduttore o a polimeri conduttori. I sensori a ossidi metallici (semi-conduttori) necessitano di essere riscaldati (300-350 °C) e sono poco selettivi; i sensori a base di polimeri conduttori coprono un largo campo di selettività, ma sono meno sensibili degli ossidi metallici e inoltre risentono fortemente dell'umidità dell'effluente gassoso. Sensibilità e selettività si oppongono a seconda del tipo di sensore ed è questo uno dei limiti maggiori per l'applicazione dei nasi elettronici alla caratterizzazione degli odoranti ambientali (Pardo et al., 2000).

## 5 L'ATMOSFERA

Le emissioni gassose di impianti per il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti possono causare alterazioni della qualità dell'aria non solo nelle immediate vicinanze della sorgente, ma anche nelle zone limitrofe. L'effetto complessivo è strettamente dipendente, oltre che da natura e quantità degli effluenti, da condizioni meteorologiche e caratteristiche geofisiche del sito, che contribuiscono a definire le modalità di trasporto, diffusione e ricaduta al suolo degli inquinanti. Fattori come velocità e direzione del vento, profilo di temperatura, radiazione solare, umidità, rendono estremamente variabile questo effetto, non solo nell'arco dell'anno, per l'alternarsi delle stagioni, ma anche da giorno a giorno (Sozzi, 2003). Al fine di comprendere meglio i fenomeni che influenzano la dispersione degli inquinanti ed il loro impatto sull'ambiente circostante vengono brevemente introdotte struttura e dinamica dell'atmosfera, e descritte le caratteristiche dello strato limite terrestre, ovvero la fascia di atmosfera più vicina al suolo, direttamente influenzata dalle attività antropiche.

### 5.1 STRUTTURA E DINAMICA DELL'ATMOSFERA

L'atmosfera è uno strato formato da gas e particelle in sospensione che avvolge la terra e ne influenza le condizioni ambientali. A causa della sua disomogeneità, è necessario effettuare una opportuna classificazione per differenziare i vari strati con diverse caratteristiche, che nell'insieme definiscono la struttura dell'atmosfera (Garratt, 1992).

I diversi strati sono suddivisi in base all'andamento del profilo verticale della temperatura ( $dT/dz$ ) o in base a particolari fenomeni fisici o chimici che la caratterizzano per quanto riguarda la parte più lontana dalla terra. L'utilizzo del gradiente verticale di temperatura è giustificato sia dal fatto che individua strati di atmosfera con caratteristiche differenti tra loro, sia perché è un parametro fondamentale per l'equilibrio idrostatico (bilanciamento tra la forza di gravità e la forza del gradiente di pressione che agiscono su una determinata massa d'aria).

La troposfera è lo strato di atmosfera più vicino alla superficie terrestre e in media si estende in verticale fino ad una quota di 10 km. È caratterizzato da un costante calo della temperatura con la quota, mediamente pari a 6,5 °C/km. Tale calo è dovuto, sia al fatto che una particella di aria si espande adiabaticamente salendo, a causa della minore pressione, e quindi si raffredda, sia al fatto che la principale sorgente di calore è rappresentata dal suolo che quindi scalda maggiormente gli strati d'aria ad esso adiacenti. Infatti, la superficie terrestre si riscalda assorbendo la radiazione solare (la radiazione solare non scalda direttamente l'aria della troposfera) ed il calore riemesso dalla terra viene trasportato verso l'alto grazie al rimescolamento turbolento che caratterizza la troposfera. Ci possono comunque essere locali e

marcati scostamenti dal valore medio del profilo di temperatura (per maggiori informazioni vedere paragrafo 5.3 Inversioni termiche). La troposfera contiene quasi l'80% della massa totale dell'atmosfera e contiene la quasi totalità del vapore acqueo atmosferico. L'estensione verticale della troposfera varia fortemente con la latitudine. È spessa 7-8 km sopra ai poli, 10-12 km alle medie latitudini, 16-18 km nelle regioni tropicali dove il forte riscaldamento del suolo favorisce intensi moti convettivi che penetrano verso l'alto, facendo salire il limite della troposfera. La tropopausa separa la troposfera dalla stratosfera.

La stratosfera è lo strato che sovrasta la troposfera. È caratterizzato da un primo strato di circa 10 km di spessore in cui la temperatura resta pressoché costante con la quota e da uno successivo di 25-30 km, nel quale la temperatura aumenta progressivamente. La stratosfera si estende fino a 50 km di quota. A causa del gradiente verticale di temperatura positivo ( $dT/dz > 0$ ) il rimescolamento verticale è fortemente inibito, al contrario di quanto accadeva in troposfera. La stratosfera contiene quasi tutto l'ozono atmosferico (circa il 90% del totale) che raggiunge la massima concentrazione tra i 15 e i 35 km di quota. L'ozono assorbe la radiazione ultravioletta (uv) solare producendo di conseguenza un riscaldamento. Tale riscaldamento, che risulta massimo alla sommità della stratosfera, dove si raggiungono temperature prossime agli 0 °C, spiega l'andamento del profilo verticale di temperatura visto prima. Al contrario, la temperatura minima in stratosfera si registra negli strati bassi con valori dell'ordine di -70 °C sopra all'equatore, da -50 a -60 °C sul polo nord, fino a -80 °C sul polo sud. La stratopausa, in cui si raggiunge la massima temperatura stratosferica, separa la stratosfera dallo strato superiore.

La mesosfera si estende fino a 80 km di quota circa. La temperatura cala con la quota fino a raggiungere il minimo (attorno ai -130 °C) in corrispondenza della mesopausa. Lo strato di ozono stratosferico riscalda la parte inferiore dello strato generando un profilo di temperatura  $dT/dz < 0$ . L'andamento verticale della temperatura favorisce il rimescolamento tanto che in mesosfera si possono sviluppare moti convettivi. In corrispondenza della mesopausa il calo di temperatura si interrompe a causa del riscaldamento prodotto dall'assorbimento di radiazione solare da parte dell'ossigeno molecolare e dell'ozono.

La termosfera si estende in altezza per parecchie centinaia di chilometri ed è caratterizzata da notevoli oscillazioni di temperatura tra giorno e notte. Infatti la temperatura in termosfera è strettamente legata all'intensità della radiazione solare (uv e raggi x in particolare) ed il suo costante aumento con la quota è dovuto all'assorbimento della stessa radiazione solare da parte delle molecole di azoto (N<sub>2</sub>) e ossigeno (O<sub>2</sub>) che si dissociano (foto-dissociazione). (appunti "Fisica dell'atmosfera" (2012) Dott. Silvio Davolio Ultimo accesso: 16/09/2015).

La causa predominante della dinamica atmosferica è rappresentata dalla radiazione solare e quindi dal riscaldamento terrestre. L'energia radiante che raggiunge il pianeta non è però

costante, e questo si traduce in differenze di pressione e temperatura (Garratt, 1992). I moti atmosferici seguono le leggi fisiche di conservazione di massa, quantità di moto ed energia; le forze in gioco sono di volume (forze gravitazionali) e di superficie (forze da gradiente di pressione e forze di attrito). Se, inoltre, il movimento viene considerato rispetto ad un sistema di riferimento in rotazione con la terra, si dovrà tener conto anche delle forze apparenti quali quella di Coriolis e quella centrifuga. Le equazioni che descrivono i moti delle masse d'aria e degli effluenti di sorgenti inquinanti sono estremamente complesse. Tuttavia, è possibile semplificare il problema effettuando un'analisi di scala, cioè stimando quali termini portano un contributo determinante ad un dato fenomeno, in base alle fluttuazioni nella scala del tempo e dello spazio che si considerano. Poiché i fenomeni che avvengono con lunghezza di scala orizzontale di pochi chilometri hanno una scala dei tempi breve, è possibile trascurare i termini dovuti alla rotazione terrestre. Inoltre, si possono effettuare una serie di assunzioni per semplificare ulteriormente i sistemi di complesse equazioni che descrivono il moto atmosferico degli inquinanti.

## **5.2 GRADIENTE TERMICO ADIABATICO E STABILITÀ ATMOSFERICA**

La dispersione degli inquinanti in aria è in buona parte determinata dalle condizioni di stabilità o instabilità dell'atmosfera, che dipendono, in ultima analisi, dall'andamento della temperatura dell'aria con la quota. Si supponga di isolare un volume infinitesimo d'aria (che chiameremo "particella adiabatica") caratterizzato da valori di pressione  $p'$ , temperatura  $T'$ , densità  $\rho'$ , dall'aria ambiente (caratterizzata dai rispettivi valori  $p$ ,  $T$  e  $\rho$ ). La particella si trova ad una quota  $z'$  e effettua uno spostamento  $dz'$ . Durante lo spostamento si può assumere  $p=p'$  e il processo può essere considerato adiabatico, poiché il tempo impiegato in questo spostamento è molto inferiore al tempo necessario perché avvengano scambi di calore tra la particella e l'ambiente circostante. Inoltre, per piccoli spostamenti, si può assumere che la variazione di temperatura con la quota sia lineare, e quindi esprimibile mediante le seguenti relazioni (Garratt, 1992; Sozzi, 2003):

- per l'**aria ambiente**:  $T = T_0 + \Gamma \times z'$ 
  - $T_0$  = valore imperturbato della temperatura;
  - $\Gamma$  = gradiente termico verticale dell'aria (variazione della temperatura in funzione della quota).
- per la **particella**:  $T' = T_0 + \Gamma' \times z'$ 
  - $T_0$  = temperatura alla quota iniziale ( $z'$ ), prima che la perturbazione provochi lo spostamento (adiabatico) della particella;
  - $\Gamma'$  = **gradiente termico adiabatico** della particella in funzione della quota, il cui valore nella troposfera, facendo l'ipotesi di atmosfera statica e senza umidità, è:  

$$\Gamma' = dT / dz = -0,00976 \text{ } ^\circ\text{C/m}$$

che corrisponde ad una diminuzione di temperatura di circa 1°C ogni 100 metri.

Il *gradiente termico adiabatico secco* ( $\Gamma'$ ) rappresenta il termine di paragone con cui confrontare il gradiente termico reale dell'aria ( $\Gamma$ ), allo scopo di definire lo stato di stabilità dell'atmosfera.

Sono possibili i seguenti casi (Garratt, 1992; Sozzi, 2003):

- $\Gamma > \Gamma' \rightarrow$  *gradiente subadiabatico* (meno negativo di quello adiabatico o addirittura positivo nel caso delle inversioni termiche): l'aria si raffredda più lentamente con la quota rispetto al gradiente termico adiabatico e sono quindi ostacolati i moti di mescolamento verticale: una ipotetica particella, salendo adiabaticamente (senza scambi di calore con l'aria circostante), si trova ad una temperatura minore (densità maggiore) dell'aria ambiente, e quindi tenderà a scendere per recuperare la posizione iniziale (*equilibrio stabile*);
- $\Gamma = \Gamma' \rightarrow$  *gradiente adiabatico*: muovendo l'ipotetica particella verso l'alto o verso il basso, la sua temperatura cambia con lo stesso andamento del gradiente dell'aria circostante e quindi su di essa non agisce alcuna forza (*equilibrio neutro*);
- $\Gamma < \Gamma' \rightarrow$  *gradiente superadiabatico*: l'aria si raffredda più rapidamente con la quota rispetto al gradiente termico adiabatico: la particella, salendo, si trova ad una temperatura superiore rispetto all'aria circostante e quindi, avendo densità inferiore, tende a salire ancora, allontanandosi sempre di più dal punto di partenza (*equilibrio instabile*).

Pasquill ha definito sei *classi di stabilità atmosferica* (successivamente portate a sette), dalla A, la più instabile, alla F (o G), la più stabile, in relazione con il valore del gradiente termico (Figura 5.1) (Pasquill e Smith, 1983).

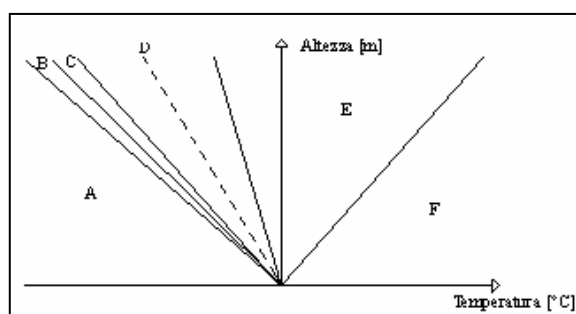


Figura 5.1: Classi di stabilità atmosferica in funzione del valore assunto dal gradiente termico.

Il metodo più corretto per la valutazione del grado di stabilità dell'atmosfera è la determinazione continua del gradiente termico verticale, fino ad una ragionevole altezza dal suolo, per poi procedere alla classificazione dei dati ottenuti secondo opportuni intervalli di valori di  $\Gamma$  rispetto all'adiabatica. La Tabella 5.1 riporta la classificazione della stabilità atmosferica secondo il solo gradiente termico. Questo metodo, però, presenta notevoli difficoltà di realizzazione e richiede particolari strumentazioni, pertanto è raramente seguito (per esempio da ENEL e Aeronautica Militare) (Fuoco, 2005).

**Tabella 5.1: Classi di stabilità secondo Pasquill.**

Classe di stabilità	Descrizione	Valore del gradiente termico (°C/100m)
<b>A</b>	condizioni estremamente instabili: • turbolenza termodinamica molto forte • shear del vento molto debole	$\Gamma > -1,9$
<b>B</b>	condizioni moderatamente instabili: • turbolenza termodinamica media • shear del vento moderato	$-1,9 \leq \Gamma < -1,7$
<b>C</b>	condizioni leggermente instabili: • turbolenza termodinamica molto debole • shear del vento moderato-forte	$-1,7 \leq \Gamma < -1,5$
<b>D</b>	condizioni neutre	$-1,5 \leq \Gamma < -0,5$
<b>E</b>	condizioni leggermente stabili: • turbolenza termodinamica molto debole • shear del vento forte	$-0,5 \leq \Gamma < +1,5$
<b>F</b>	condizioni stabili	$+1,5 \leq \Gamma < +4,0$
<b>G</b>	condizioni fortemente stabili: • turbolenza meccanica • shear del vento molto forte	$\Gamma > +4,0$

In alternativa, si può impiegare una metodologia che consiste nell'attribuire un valore di stabilità, uniforme in tutto lo strato di atmosfera, utilizzando i dati disponibili al suolo. Il metodo di Pasquill, che prevede le categorie di stabilità riportate sopra, propone la Tabella 5.2 per la corrispondenza delle classi di stabilità a diverse condizioni d'insolazione e di vento, di giorno e di notte.

**Tabella 5.2: Classe di stabilità in funzione della velocità del vento e irraggiamento solare (giorno) e copertura nuvolosa (notte) a medie latitudini.**

VENTO AL SUOLO (m/s) (a 10 m)	Radiazione solare incidente (W/m <sup>2</sup> ) (GIORNO)			Copertura nuvolosa (NOTTE)	
	Forte >700	Moderata 350-700	Debole < 350	≥ 50%	< 50%
calma	--	--	--	--	G
< 2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Note:

- 1) La classe D si applica con cielo coperto da densa coltre nuvolosa, indipendentemente dalla velocità del vento sia di notte che di giorno e dalle condizioni del cielo durante l'ora precedente o seguente la notte come definita alla nota 3.
- 2) L'insolazione forte è riferita a giornate assolate di mezza estate; l'insolazione debole a condizioni similari a metà inverno.
- 3) Le ore notturne coprono l'arco di tempo che va da 1 ora prima del tramonto ad 1 ora dopo l'alba.

Condizioni di stabilità si presentano durante le notti con cielo sereno e vento assente o debole, con il suolo che irradia calore e si raffredda più rapidamente degli strati superiori dell'aria. Condizioni di atmosfera instabile si presentano invece nel caso in cui di giorno il cielo sia sereno ed il vento sia assente o estremamente debole, poiché il suolo assorbe di più la radiazione solare,



si scalda quindi più rapidamente dell'aria e riscalda a sua volta l'aria sovrastante. Un'atmosfera (approssimativamente) neutra, infine, si ritrova normalmente con cielo coperto, che di giorno impedisce l'irraggiamento del sole verso il terreno e di notte quello del terreno verso l'alto, oppure con cielo sereno (di giorno o di notte) ma con vento sufficientemente forte da rimescolare gli strati prossimi al terreno (Sozzi, 2003).

### **5.3 INVERSIONI TERMICHE**

Inversione termica è il termine generale che si usa per indicare strati di atmosfera in cui il gradiente termico verticale si inverte, diventando positivo, e la temperatura aumenta con la quota. Generalmente, questo fenomeno ha effetto negativo sulla qualità dell'aria, specialmente quando l'emissione di inquinanti avviene al di sotto della base dell'inversione, che funge da tappo alla dispersione verso l'alta atmosfera e può provocare concentrazioni al suolo elevate. Quando invece l'emissione avviene al di sopra dello strato di inversione, esso funge da protezione, ostacolando la ricaduta al suolo dell'inquinante.

Esistono diverse cause di inversione termica, ma solo due sono rilevanti per la qualità dell'aria:

- *Inversione termica per radiazione*: durante la notte, la superficie della terra si raffredda emanando energia di radiazione verso lo spazio. Nelle notti nuvolose, la radiazione terrestre tende ad essere assorbita dal vapore acqueo presente in atmosfera, ed in parte viene riemessa verso il suolo. Nelle notti serene, essa viene trasmessa senza ostacolo nello spazio e quindi il suolo si raffredda più rapidamente. Contemporaneamente al raffreddamento del suolo si ha il progressivo riscaldamento degli strati d'aria sovrastanti. Si verificano, quindi, situazioni in cui l'aria appena sopra il terreno risulta più fredda di quella che si trova ancora al di sopra, creando l'inversione. L'inversione termica ha inizio al crepuscolo e, con il progredire della notte, la sua altezza dal suolo aumenta fino a raggiungere qualche migliaio di metri, poco prima che arrivi il mattino ed il sole torni a scaldare il terreno. Durante il giorno, il progressivo aumento d'intensità dell'irraggiamento solare provoca lo smantellamento dello strato di inversione, e il gradiente termico torna gradualmente ad essere negativo;
- *Inversione termica per subsidanza*: questo tipo di inversione, contrariamente a quella dovuta alla radiazione, è un fenomeno che può durare per mesi, avviene a quote più elevate ed è più comune in estate. L'inversione per subsidanza è associata a condizioni meteorologiche di alta pressione conosciute come anticicloniche: si ha un sistema circolatorio verticale di masse d'aria, per cui l'aria al centro, scendendo, va incontro a condizioni di maggior pressione, e quindi si comprime e si scalda, venendosi a trovare ad una temperatura maggiore rispetto all'aria sottostante. Il risultato è un'*inversione in quota* che dura per tutto il tempo che le condizioni di alta pressione persistono.

#### 5.4 CARATTERISTICHE DELLO STRATO LIMITE TERRESTRE

Lo strato limite terrestre, planetary boundary layer (PBL), è definito come la parte della troposfera immediatamente al di sopra del terreno, direttamente influenzata dalla superficie terrestre e che risponde alle seguenti forzanti superficiali (Fuoco, 2005):

- resistenza aerodinamica, causata dalla forza d'attrito viscoso;
- trasferimento di calore, evaporazione e traspirazione da e verso il suolo;
- modificazioni del flusso d'aria indotte dalla morfologia del terreno;
- emissione di grandi masse di inquinanti, dovute a sorgenti naturali o antropiche.

Il flusso d'aria nel PBL, può essere suddiviso in tre componenti principali: vento medio, onde e turbolenza. Nella Figura 5.2 sono rappresentate le tre componenti isolate, ciascuna delle quali può esistere separatamente o in parziale presenza delle altre.

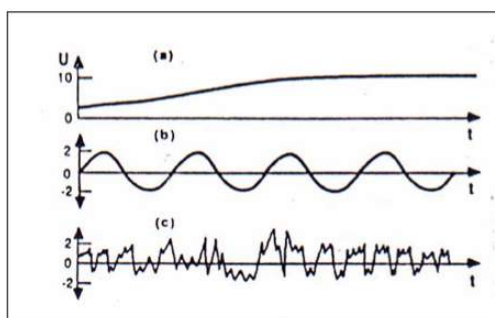


Figura 5.2: Componenti del PBL: (a) vento medio, (b) onde e (c) turbolenza.

Il *vento medio* è responsabile del rapido *trasporto orizzontale* (avvezione), con valori di velocità generalmente compresi nell'intervallo 2-10 m/s. L'attrito con il terreno causa una diminuzione della velocità orizzontale del vento in prossimità del terreno stesso (*vertical shear*).

Le *onde*, più frequenti nel PBL notturno, non sono molto efficaci nella propagazione di calore, inquinanti e altre grandezze scalari, ma lo sono nel trasporto di quantità di moto ed energia. Possono essere generate localmente dal “vertical shear” del vento (variazione con la quota della velocità del vento medio) o dalla presenza di ostacoli che perturbano il flusso, oppure possono propagarsi da sorgenti, come temporali ed esplosioni, lontane dalla zona di osservazione. I modelli di dispersione non tengono conto delle onde, in quanto l'entità dei loro effetti è generalmente trascurabile rispetto a quelli delle altre componenti. Onde e turbolenza sono generalmente sovrapposte al vento medio, ma nella realtà, la propagazione di calore, quantità di moto e inquinanti, generalmente, si considera dominata orizzontalmente dal vento medio e verticalmente dalla turbolenza (Fuoco, 2005).

La *turbolenza* è definita come una condizione di flusso irregolare, in cui varie grandezze mostrano fluttuazioni casuali sia nel tempo che nello spazio; si hanno vortici (*eddies*) di varie dimensioni che si sovrappongono al flusso medio. La diffusione turbolenta può essere di tipo

diverso a seconda della sua origine:

- *Turbolenza convettiva* (o *termodinamica*), con origine termica: è provocata dal riscaldamento per radiazione del terreno, il quale, a sua volta, riscalda gli strati d'aria sovrastanti, creando così una circolazione verticale con risalita di aria calda e moti discendenti di aria fredda. Questo tipo di turbolenza rappresenta il meccanismo più efficace per la dispersione verticale degli inquinanti;
- *Turbolenza di origine meccanica*: è generata dal “vertical shear” del vento, la cui intensità diminuisce con la quota per l'attrito con il terreno, provocando instabilità nel flusso d'aria. Questo tipo di turbolenza è isotropa ed ha generalmente intensità trascurabile rispetto a quella della turbolenza convettiva;
- *Turbolenza dovuta alla presenza di ostacoli* (alberi, edifici isolati ecc.) lungo la direzione del flusso, che possono generare fenomeni turbolenti locali, come la formazione di vortici sottovento all'ostacolo (l'effetto viene indicato con il termine “down-wash”).

### **5.5 EVOLUZIONE GIORNALIERA DEL PBL**

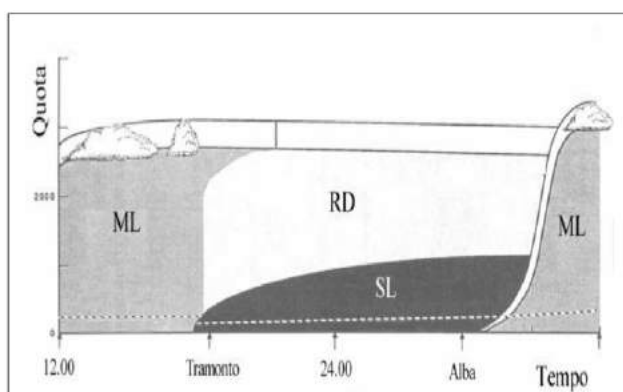
L'altezza complessiva della troposfera è di circa 11 Km dal suolo; il PBL occupa la porzione più bassa, con altezza variabile tra 100-200 m (notti serene, vento debole) e 2-3 km (irraggiamento solare intenso, forte vento); il resto è atmosfera libera. È difficile stabilire con esattezza l'altezza del PBL perché è molto variabile: oltre a presentare un ciclo diurno, essa risulta fortemente dipendente dalle condizioni meteorologiche e orografiche del sito. Il PBL risulta più sottile nelle regioni di alta pressione che in quelle di bassa pressione. Infatti, alle alte pressioni sinottiche sono associati fenomeni di subsidenza e divergenza orizzontale (nei bassi strati), che muovono l'aria verso le aree a bassa pressione. Il PBL presenta quindi, nelle zone stabili e prive di nubi, una scarsa estensione verticale. Al contrario, nelle zone di bassa pressione, i moti ascensionali e la convergenza spingono l'aria fino a quote elevate, causando spesso la formazione di nubi cumuliformi. In questo caso, è difficile stabilire fisicamente l'altezza del PBL, pertanto si ricorre ad una definizione convenzionale che la pone uguale alla quota della base delle nuvole (Fuoco, 2005). Al di sopra del mare aperto l'altezza del PBL varia abbastanza lentamente nel tempo e nello spazio: la superficie del mare è uniforme e la sua temperatura non subisce variazioni significative durante il ciclo diurno, a causa del continuo rimescolamento e della elevata capacità termica dell'acqua. Sulla terra ferma, invece, lo strato limite terrestre è molto più variabile: può presentarsi in tre forme principali che si alternano nel corso delle 24 ore (Garratt, 1992):

- Il Mixed Layer, ML (o Convective Boundary Layer, CBL) è lo strato di mescolamento, con turbolenza dovuta alla convezione termica, caratteristico di condizioni di instabilità atmosferica. La formazione del ML inizia dopo l'alba, quando il suolo comincia a scaldarsi, e

man mano che il calore assorbito aumenta e la circolazione turbolenta verticale si intensifica, la sua altezza cresce, fino a raggiungere il massimo nel pomeriggio. I moti turbolenti favoriscono la diluizione degli inquinanti, che avviene in grandi volumi di aria, e ne facilitano la dispersione (“looping” del pennacchio), riducendo le concentrazioni al suolo. Al di sopra del ML può rimanere uno strato d’inversione termica (fortemente stabile) che, a seconda della quota di emissione degli effluenti, può fungere da tappo, impedendo agli inquinanti di disperdersi verso l’alta atmosfera, o da protezione, ostacolandone la ricaduta al suolo.

- Il Residual Layer, RL, è lo strato residuo, che si forma circa 30 minuti prima del tramonto e determina il passaggio graduale dalle condizioni instabili, caratteristiche delle ore del giorno, a condizioni approssimativamente neutre. Man mano che l’irraggiamento solare si riduce, il suolo cede sempre meno calore all’aria sovrastante, e i primi a raffreddarsi sono gli strati più lontani da esso. La formazione del RL comincia quindi dagli strati più alti del ML. Nel RL la turbolenza, solo di tipo meccanico e isotropa, ha la stessa intensità in tutte le direzioni e questo spiega la forma a cono (“coning”) dei pennacchi di fumo emessi nel RL.
- Lo Stable Boundary Layer, SBL, caratterizzato da quasi totale assenza di turbolenza, si forma durante la notte dalla progressiva erosione, a partire dal suolo, dello strato residuo (RL), che lascia il posto a condizioni stabili. In assenza di vento, la stabilità atmosferica favorisce il ristagno degli inquinanti nelle immediate vicinanze della sorgente. In presenza di vento invece, gli inquinanti si disperdono lungo la sua direzione prevalente, e possono percorrere distanze anche molto lunghe prima di ricadere al suolo; il pennacchio può assumere forma a ventaglio, a fascia o a bandiera, a seconda della variabilità della direzione e dell’intensità dei venti (“fanning”).

A quelli descritti, si aggiungono uno strato di piccolo spessore vicino al terreno detto strato superficiale (Surface Layer) e, nel caso siano presenti formazioni nuvolose durante il giorno, uno strato nuvoloso (Cloud Layer) posto nella parte alta di quello di miscelamento. In Figura 5.3 è schematizzato il passaggio da uno strato all’altro durante 24 ore.



**Figura 5.3: Evoluzione giornaliera del PBL.**

## 5.6 DISPERSIONE DEI PENNACCHI NEL PBL

In Figura 5.4 sono riassunte le relazioni tra condizioni atmosferiche e forma dei pennacchi, evidenziando anche l'andamento della concentrazione con la distanza dalla sorgente. I casi che si possono verificare sono i seguenti:

1. Atmosfera *instabile*: ampie diluizioni e rapidi mescolamenti per effetto della turbolenza convettiva (“*looping*”);
2. Atmosfera *neutra*: pennacchio generalmente simmetrico (“*coning*”) per effetto della turbolenza meccanica isotropa;
3. Atmosfera *stabile*: impedisce notevolmente la dispersione verticale del pennacchio che quindi si espande in direzione del vento (“*fanning*”);
4. Camino che emette al di sopra dello *strato di inversione*: dispersione dei fumi verso l'alto e riduzione della concentrazione al suolo degli inquinanti;
5. Camino che emette al di sotto dello strato di inversione: i fumi si disperdono verso il basso causando alte concentrazioni di inquinanti al suolo (“*fumigation*”).

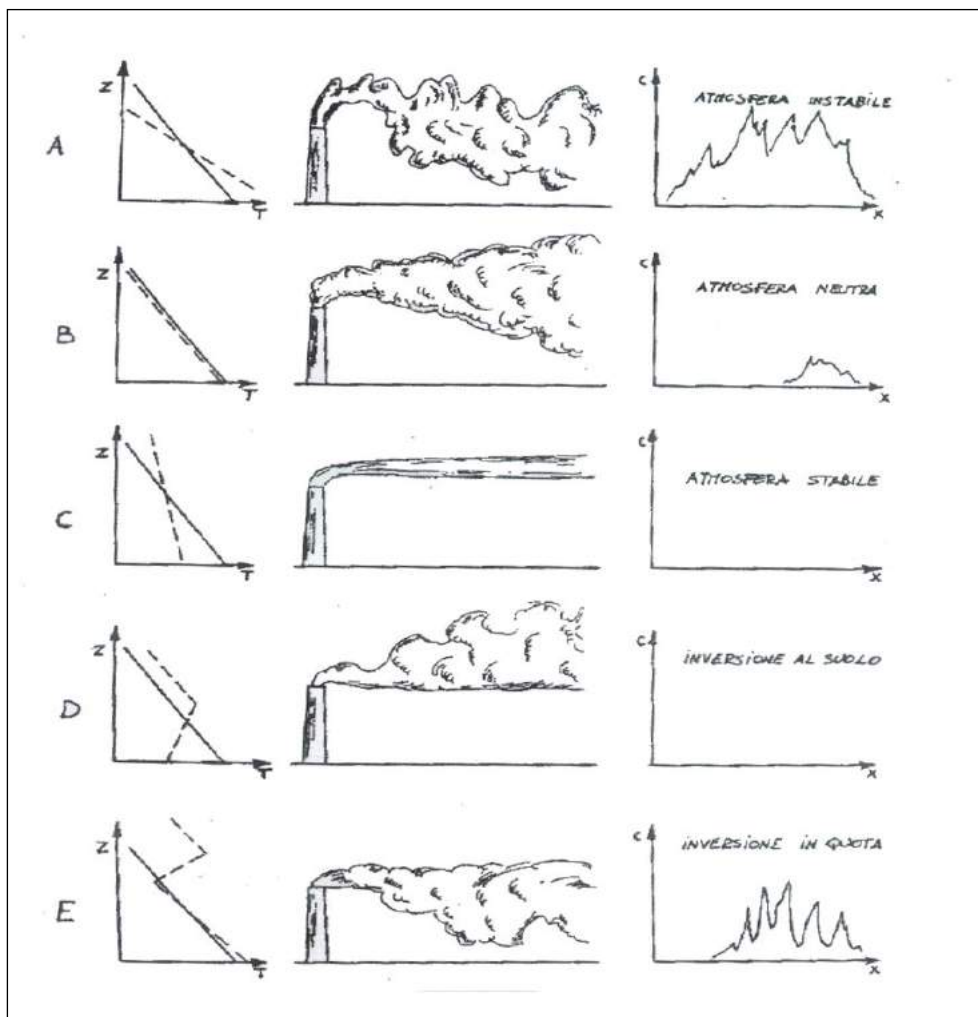


Figura 5.4: Struttura dei pennacchi in base alle condizioni atmosferiche.

## **6 MODELLI DI DISPERSIONE ATMOSFERICA**

La legislazione europea e il suo recepimento nella normativa nazionale incoraggiano lo sviluppo e l'uso di modelli matematici per previsione della qualità dell'aria che sono considerati di primaria importanza nelle valutazioni preliminari di qualità e utili per completare il contenuto informativo delle misure dirette. Il funzionamento dei modelli di dispersione consiste nel simulare gli effetti di una o più sorgenti di emissione in termini di concentrazione degli inquinanti emessi in corrispondenza di fissati recettori. La simulazione della dispersione di emissioni tramite modelli permette di determinare l'impatto ambientale delle emissioni stesse sul territorio. Tramite l'applicazione di modelli è possibile simulare la dispersione in atmosfera delle sostanze inquinanti, intorno alla sorgente di emissione; è quindi possibile procedere al calcolo della concentrazione in aria degli inquinanti emessi, per ogni intervallo di tempo del dominio considerato. Le concentrazioni così ottenute possono essere elaborate per ottenere dati sintetici come, ad esempio, medie annuali, giornaliere, percentili di concentrazione, che possono essere confrontati con gli eventuali limiti di riferimento di legge. Le tecniche di modellazione sono, quindi, un importante strumento di aiuto per la valutazione della qualità dell'aria e rappresentano uno strumento fondamentale per la stima preventiva dell'impatto su un territorio di sorgenti potenzialmente inquinanti e per la realizzazione di piani e programmi di miglioramento e mantenimento della qualità dell'aria (Deserti et al., 2004).

I modelli rappresentano potenti strumenti per ([www.gis.provincia.tn.it](http://www.gis.provincia.tn.it) ultimo accesso 28/12/2015):

- estendere il dato di concentrazione puntuale per ottenere campi di concentrazione anche in aree del territorio non raggiunte dalle reti di monitoraggio, tenendo conto della distribuzione spazio-temporale delle emissioni e delle condizioni meteorologiche locali;
- ottenere informazioni sulle relazioni tra emissioni ed immissioni, e cioè tra sorgente e recettori, con la possibilità di calcolare i contributi relativi delle singole sorgenti;
- valutare l'impatto di inquinanti non monitorati dalle reti esistenti;
- studiare scenari ipotetici di emissione, in modo da valutare i potenziali effetti dovuti all'insediamento di nuovi siti produttivi o ad interventi su impianti esistenti.

### **6.1 DATI DI SIMULAZIONE MODELLISTICA**

I modelli adottati a scala locale e urbana devono essere adatti al trattamento di inquinanti primari a supporto della valutazione della qualità dell'aria in aree urbane, metropolitane o in aree

industriali, dove la qualità dell'aria risulta determinata principalmente dalle fonti di emissione vicine.

I modelli a scala locale sono spesso utilizzati per la progettazione urbanistica e per la gestione del traffico. Altri usi sono la stima dell'esposizione ad inquinanti da parte degli abitanti o di particolari categorie professionali, le valutazioni di impatto ambientale e anche la progettazione di camini. Il dominio spaziale cioè la superficie al suolo sulla quale si valutano le concentrazioni ha dimensioni di lato che variano da alcune centinaia di metri a qualche chilometro.

I modelli a scala urbana sono frequentemente applicati per descrivere la dispersione da camini, da traffico veicolare, da agglomerati urbani o discariche. Il dominio spaziale si estende da qualche chilometro fino a varie decine di chilometri.

I parametri di input necessari per questi modelli sono dati meteorologici (velocità, direzione e profilo verticale del vento, temperatura e profilo verticale di temperatura, umidità, pressione, radiazione solare, precipitazione ecc.), dati emissivi (numero, tipo, localizzazione e geometria delle sorgenti, concentrazione degli inquinanti emessi, velocità di efflusso, temperatura dell'emissione ecc.) e condizioni iniziali ed al contorno, provenienti da stazioni di qualità dell'aria o da un modello a scala regionale (orografia, tipo di suolo ecc.) (Deserti et al., 2004).

### **6.1.1 Dati di input**

I principali dati in ingresso relativi al territorio riguardano (Finzi, 2001):

- orografia: matrice delle quote altimetriche necessaria in modelli che tengono conto della tridimensionalità del campo di moto. La risoluzione spaziale varia molto a seconda della scala a cui il modello lavora (da 50 m per la microscala a 50 km per la grande scala);
- mappa di uso del suolo: necessaria nei modelli che tengono conto della diffusione e della deposizione/adsorbimento dell'inquinante in corrispondenza del terreno;
- cartografia: base su cui si riportano i dati al fine di spazializzare i risultati. Tale procedimento può essere automatizzato tramite l'impiego di sistemi di GIS.

Secondo le raccomandazioni della World Meteorological Organization (WMO) i principali dati in ingresso relativi alla meteorologia consistono in (Finzi, 2001):

- velocità e direzione del vento: tali dati sono monitorati al suolo ed in quota nel caso di modelli che ricostruiscono il campo di vento tridimensionale tramite pre-processor meteorologici;
- temperatura, umidità, pressione, radiazione solare al suolo, precipitazione: servono per determinare il parametro di stabilità atmosferica in maniera indiretta quando non esistono misure più sofisticate di turbolenza atmosferica;
- gradiente termico verticale: per la determinazione della quota di inversione termica.

Nelle simulazione di dispersione degli odori tali dati devono essere introdotti a scansione oraria, per un'estensione minima del dominio temporale di simulazione pari ad un anno (D.g.r. n. IX/3018, 2012). I modelli di dispersione, oltre ai dati di base citati sopra, necessitano di altre variabili meteorologiche acquisibili con strumentazione avanzata o stimate da opportuni pre-processori meteorologici, quali:

- altezza dello strato di rimescolamento;
- categoria di stabilità atmosferica e/o più compiutamente le tre componenti della turbolenza;
- parametri di scala quali per esempio la velocità di attrito, la lunghezza di Monin-Obukhov e il flusso di calore sensibile;
- risalita verticale dei fumi caldi.

I dati in ingresso relativi agli scenari emissivi consistono in:

- numero e localizzazione delle sorgenti;
- caratteristiche geometriche: altezza e diametro in caso di sorgenti puntuali, area e forma in caso di sorgenti areali estese;
- portata di odore (espressa in OU/s);
- temperatura e velocità dell'effluente nella sezione di sbocco;
- altezza del punto di emissione rispetto al suolo (per un biofiltro è il colmo della struttura di contenimento del letto biofiltrante, che è maggiore dell'altezza della superficie superiore del letto biofiltrante).

### **6.1.2 Elaborazione dei risultati**

Un modello di dispersione, in generale, restituisce in output valori di concentrazione in aria in corrispondenza di punti specifici situati sul territorio o nei punti centrali di una griglia, permettendo la realizzazione di mappe di isoconcentrazione. I valori di concentrazione possono essere restituiti con diversi gradi di mediazione, in particolare si parla di:

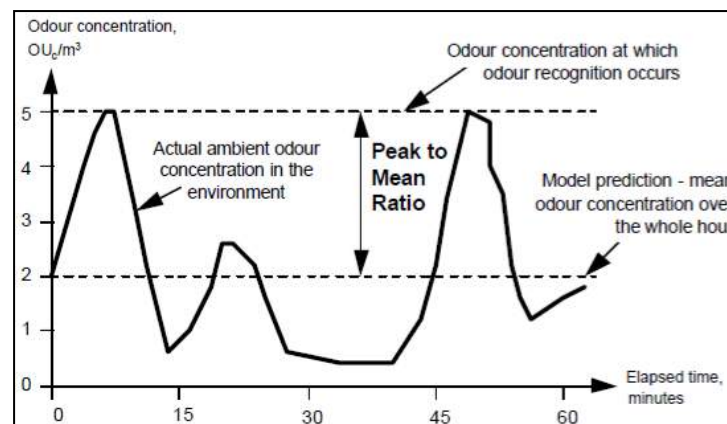
Simulazione Short Term, in cui viene restituito un valore di concentrazione per ogni linea di dati meteorologici di input, ad esempio tutti i valori orari in un anno in corrispondenza di recettori sensibili;

Simulazione Long Term, in cui viene restituito un unico valore per ogni punto della griglia di output, derivante dall'elaborazione di tutti i dati del file meteorologico in ingresso, ad esempio un valore medio annuale o il calcolo di un determinato percentile, come nel caso delle immissioni odorigene.

Poiché la risposta dell'uomo ad uno stimolo olfattivo è dell'ordine di 3,6 secondi (il tempo medio di un respiro) è importante considerare gli effetti delle fluttuazioni di concentrazione di



odore nell'arco del periodo considerato. È necessario, dunque, dedurre le concentrazioni orarie di picco (concentrazione che in un'ora è oltrepassata con probabilità  $10^{-3}$ , cioè per più di 3,6 secondi), moltiplicando le concentrazioni medie orarie restituite dal modello per un coefficiente sperimentale ("peak-to-mean ratio") pari a 2,3 (Capelli e Sironi, 2010). In Figura 6.1 è mostrato un confronto tra il risultato medio orario fornito da un modello e quello che in realtà può accadere durante l'ora. I risultati della simulazione sono, infine, espressi attraverso il 98° percentile su base annua della concentrazione di picco.



**Figura 6.1: Predizione dell'odore secondo il modello di dispersione comparato con la realtà (Freeman e Cudmore, 2002).**

La concentrazione di odore al 98° percentile rappresenta il valore percepito per il 2% delle ore in un anno: ad esempio, se presso un recettore il 98° percentile delle concentrazioni orarie di picco è pari ai  $3 \text{ OU/m}^3$ , significa che la concentrazione di odore simulata al suolo, avvertita presso quel recettore, risulta inferiore a  $3 \text{ OU/m}^3$  per il 98% delle ore dell'anno.

La rappresentazione dei risultati, dunque, deve avvenire attraverso:

- mappe di distribuzione al suolo relative al 98° percentile su base annua della concentrazione di picco di odore;
- mappe di sovrapposizione o confronto delle concentrazioni di odore provenienti da fonti differenti;
- grafici di confronto con le soglie di concentrazione di riferimento per la valutazione del livello di esposizione all'odore.

## **6.2 RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI RISULTATI**

Dall'elaborazione matematica delle informazioni in ingresso al modello si perviene a dati di "output", rappresentati in genere attraverso campi di concentrazione georeferenziati (mappe), che rappresentano il risultato finale della simulazione modellistica. Il risultato delle applicazioni modellistiche relative alla dispersione di inquinanti in atmosfera necessita di un'opportuna rappresentazione grafica che permetta, anche ai non addetti ai lavori, l'immediata percezione dell'informazione ricavata. Il risultato di una simulazione modellistica è rappresentato, in

generale, da un insieme di valori stimati di concentrazione  $C_i$  per un dato periodo  $t_j$  (media aritmetica su un periodo più o meno lungo, a seconda della finalità della simulazione). Ad ogni valore di concentrazione  $C_i$  sono associate le coordinate dei recettori o dei punti griglia dello spazio bidimensionale (o tridimensionale) che rappresenta il dominio di calcolo utilizzato dal modello. Quello che si ottiene è pertanto una matrice di concentrazioni a tre o quattro dimensioni ( $C_{x,y,t}$  o  $C_{x,y,z,t}$ ) per ognuno degli inquinanti per i quali è stata effettuata la simulazione. La scelta della modalità con la quale rappresentare graficamente le concentrazioni dipende dal tipo di informazione che deve essere evidenziata; in generale è possibile fornire:

- serie temporali per recettore o punto griglia;
- istogrammi o distribuzioni di frequenza per recettore o punto griglia;
- mappe istantanee aventi passo temporale coincidente con quello del modello o cumulative (in termini di concentrazione) di più passi temporali.

La rappresentazione con mappe può essere realizzata attraverso carte tematiche oppure con mappe riportanti campi di isoconcentrazione. Nel caso delle carte tematiche si tratta di attribuire il valore di concentrazione ad un'area che può essere predefinita (nel caso in cui il dominio di calcolo sia un grigliato regolare) oppure determinata attraverso criteri di omogeneità geometrica (dipendente dalla disposizione dei recettori) o attraverso criteri derivanti dalla conoscenza del territorio oggetto di studio. Nel caso delle mappe di isoconcentrazione i risultati ottenuti dal modello di dispersione vengono elaborati da programmi in grado di fornire l'interpolazione dei dati, al fine di fornire rappresentazioni grafiche di più facile comprensione. È da ricordare però che l'ulteriore elaborazione dell'informazione può modificare lo scarto fra dato simulato dal modello di dispersione e dato misurato (Deserti et al., 2004).

### **6.3 CARATTERISTICHE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE LAPMOD**

Il software utilizzato in questo lavoro di tesi è LAPMOD, sviluppato dalla Enviroware srl ([www.enviroware.com](http://www.enviroware.com), data ultimo accesso 17/09/2015). Il sistema di modellazione è ideato in tre componenti principali che costituiscono il pre-processore dei dati meteo, il calcolo vero e proprio e il post-processore. I componenti principali del sistema di modellazione sono *CALMET* (modello meteorologico tridimensionale), *LAPMOD* (modello di dispersione), e *LAPOST* (un pacchetto di post-processore dei risultati). Oltre a questi componenti principali, possono essere utilizzati molti altri programmi di supporto, ad esempio per preparare dati geofisici (uso del suolo e morfologia del terreno) o meteorologici (vento, precipitazioni ecc.).

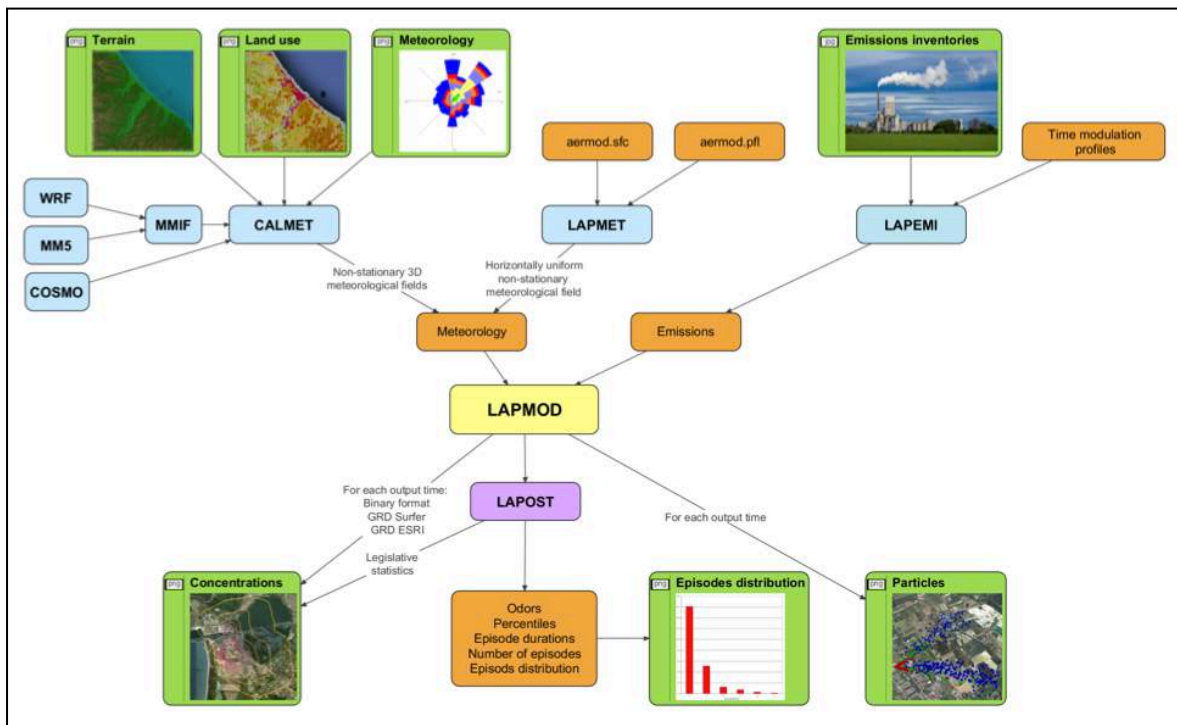


Figura 6.2: Caratteristiche del sistema modellistico LAPMOD.

### 6.3.1 CALMET

CALMET è un modello meteorologico in grado di generare campi di vento variabili nel tempo e nello spazio, punto di partenza per il modello di simulazione vero e proprio.

I dati richiesti come input sono dati meteo al suolo e in quota (vento, temperatura, pressione ecc.), dati geofisici per ogni cella della griglia di calcolo (altimetria, uso del suolo ecc.), e se presenti dati al di sopra di superfici d'acqua (differenza di temperatura aria/acqua, vento ecc.). In output, oltre ai campi di vento tridimensionali, si ottengono altre variabili come l'altezza di rimescolamento, la classe di stabilità, l'intensità di precipitazione, il flusso di calore e altri parametri per ogni cella del dominio di calcolo.

CALMET prende in considerazione i dati provenienti da diverse stazioni meteorologiche che si possono trovare in aria, al suolo o in corrispondenza di superfici acquose e delle quali si indicano le coordinate all'interno della griglia di calcolo. Questi dati vengono utilizzati per creare un unico file meteorologico in cui le informazioni delle diverse stazioni vengono interpolate per ottenere valori che variano da cella a cella nella griglia meteorologica definita dall'utente. Questa elaborazione delle informazioni provenienti dalle stazioni meteo avrà effetti sulla successiva fase di simulazione della dispersione degli inquinanti. Attraverso CALMET è possibile tenere conto di alcuni aspetti quali la pendenza del terreno, la presenza di ostacoli al flusso, la presenza di zone marine o corpi d'acqua. È dotato inoltre di un processore micrometeorologico, in grado di calcolare i parametri dispersivi all'interno del PBL, come altezza di miscelamento e coefficienti di dispersione. Quando si utilizzano domini spaziali molto

vasti, l'utente ha inoltre la possibilità di aggiustare i campi di vento per considerare la curvatura terrestre. Il modello diagnostico per il calcolo dei campi di vento utilizza un algoritmo in due fasi. Nella prima fase una stima iniziale del campo di vento viene modificata in base agli effetti cinematici del terreno, dei pendii presenti, degli effetti di bloccaggio. Successivamente, nella seconda fase, vengono introdotti i dati osservati dalle stazioni meteo all'interno del campo prodotto dalla fase 1, ottenendo così il campo di vento finale. Esiste comunque la possibilità di utilizzare come input campi di vento (generalmente a maglie più larghe) prodotti da modelli meteorologici di tipo prognostico, come ad esempio MM4-MM5 (Shire et al., 2000).

### 6.3.2 LAPMOD

LAPMOD (LAgrangian Particle MODel) è un modello Lagrangiano a particelle, tridimensionale e non stazionario, adatto a simulare la dispersione in atmosfera di sostanze inerti, radioattive e odori emesse sia in fase gassosa sia in forma di aerosol. Le particelle utilizzate per il calcolo sono spostate nell'atmosfera per effetto del vento (avvezione) e della turbolenza atmosferica (dispersione). Ciascuna particella trasporta una frazione della massa d'inquinante emessa. Ad ogni istante è possibile calcolare la concentrazione e la deposizione in corrispondenza dei recettori considerando la posizione delle particelle e le loro masse. LAPMOD è completamente accoppiato con il modello meteorologico diagnostico CALMET, il quale è in grado di fornire tutte le necessarie informazioni riguardo la velocità e la direzione del vento e i parametri turbolenti. Anche le variabili geofisiche necessarie come la rugosità o la categoria di occupazione di suolo, usati per stimare i flussi di deposizione provengono direttamente da CALMET (Manuale d'uso LAPMOD).

I concetti base dei modelli lagrangiani a particelle sono:

1. la massa di inquinante emesso viene suddivisa in un dato numero di particelle computazionali;
2. ogni particella viene mossa nel fluido atmosferico con la stessa velocità del fluido in cui la particella si trova (vento medio e fluttuazione turbolenta del vento)
  - il vento medio ( $u$ ) viene stimato mediante un modello meteorologico o mediante misure;
  - la fluttuazione turbolenta ( $u'$ ) viene calcolata per ciascuna particella mediante l'equazione stocastica di diffusione di Langevin ( $dw = a dt + b dW$ , Dove  $a$  e  $b$  dipendono dalle condizioni di stabilità locali, che vengono classificate in base al numero di Richardson  $L/z_i$  (dove  $L$  è la lunghezza di Monin-Obukov e  $z_i$  è l'altezza dello strato di rimescolamento);  $dW$  è una forzante casuale con una distribuzione normale e deviazione standard  $dt$ );

$$du'_i = a_i(x, u'_i, t)dt + b_{ij}(x, u'_i, t)d\xi_j(t)$$

- la traiettoria di ciascuna particella viene ricostruita stimando la posizione della particella ad intervalli discreti;

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t) + \Delta t(u_i + u'_i)$$

- la concentrazione di inquinante viene calcolata in un dato punto e ad un certo tempo sommando il contributo di tutte le particelle nel punto.

$$C(x_0, y_0, z_0) = \sum_p c_p K_p(x_0, y_0, z_0)$$

La concentrazione associata ad ogni particella di massa  $m_p$  è:

$$c_p = \frac{m_p}{\frac{4}{3}\pi\sigma_{xp}\sigma_{yp}\sigma_{zp}}$$

I valori di  $\sigma$  di ciascuna particella sono ottenuti integrando nel tempo la forma differenziale delle equazioni:

$$\begin{cases} \sigma_{xp}^2 = \sigma_{yp}^2 = \sigma_{zp}^2 = \varepsilon t^3 & age \leq 10^4 s \\ \sigma_{xp} = \sigma_{yp} = \sigma_{zp} = 100t^3 & age > 10^4 s \end{cases}$$

$\varepsilon$  è il rateo di dissipazione dei vortici turbolenti, che rende conto della turbolenza locale.

La funzione di smoothing  $K_p$  è:

$$K_p(x_0, y_0, z_0) = \left\{ \left(1 - \frac{|x_p - x_0|}{\alpha\sigma_{xp}}\right) \left(1 - \frac{|y_p - y_0|}{\alpha\sigma_{yp}}\right) \left(1 - \frac{|z_p - z_0|}{\alpha\sigma_{zp}}\right) \right. \\ \left. \leq \alpha\sigma_{wp} \forall w \in \{x, y, z\} \right\} \text{ where } |w_p - w_0|$$

e  $\alpha$  è il raggio di ricerca in unità  $\sigma$ .

I vantaggi di un modello a particelle lagrangiano sono:

- Attribuzione delle concentrazioni alle sorgenti (ogni particella appartiene ad una sorgente emissiva);
- Risoluzione spaziale e temporale arbitraria (la massa di inquinante non è distribuita in una cella computazionale (particolarmente importante in prossimità delle sorgenti), alta risoluzione delle caratteristiche del terreno);
- Velocità di calcolo (l'alta risoluzione spazio-temporale non limita la stabilità numerica);
- Forma arbitraria delle sorgenti.

Le caratteristiche del modello LAPMOD sono:

- Multisorgente (puntuali, puntuali buoyant, rettangolari, lineari, box, sfere, poligoni arbitrari);
- Multisostanza (inerti, radioattive, odore);
- Multifase (gas, aerosol);
- Calcolo della deposizione (secca e umida);
- Calcolo della buoyancy per sorgenti puntuali con spinta termica e/o meccanica;

6. Ratei emissivi arbitrari;
7. Input meteo da modelli o misure (vento e temperatura 3D, precipitazione,  $L$ ,  $u^*$ ,  $w^*$ ,  $H_{pbl}$ );
8. Output su griglie e ai recettori (concentrazione istantanea ed integrata su griglia e recettori, deposizioni su griglia, posizione e proprietà delle particelle).

Quando LAPMOD è utilizzato per studi d'impatto olfattivo, la concentrazione oraria di picco, che rappresenta la media su periodi brevi, ad esempio su 5 minuti o su 1 minuto, fino alla durata di un respiro (5 secondi) (Figura 6.1), può essere calcolata in maniera classica applicando il peak-to-mean ratio alle concentrazioni medie orarie in fase di post-processamento mediante LAPOST.

Mediante LAPMOD è possibile calcolare correttamente il peak-to-mean ratio secondo la formulazione originale di Smith (1973) e applicando la funzione di attenuazione esponenziale di Mylne (1991). La sensazione di odore dipende dalla concentrazione istantanea della sostanza odorigena e non dal valore di concentrazione mediato su tempi lunghi. Smith (1973) propone la seguente relazione per il peak-to-mean ratio:

$$\Psi_0 = \frac{C_p}{C_m} = \left( \frac{t_m}{t_p} \right)^u$$

dove  $C_m$  è la concentrazione mediata su un tempo lungo  $t_m$ , e  $C_p$  è la concentrazione di picco su un tempo breve  $t_p$ . Smith suggerisce i seguenti valori di  $u$  basati sulle condizioni di stabilità atmosferica, individuate tramite le classi di stabilità di Paquill-Gifford:

Classe di stabilità	A	B	C	D	E	F
$u$	0.65	0.65	0.52	0.35	0	0

La scelta di  $t_p = 5s$ , brevi quanto un respiro, si basa sulle misure di Mylne (1990). Questi valori sono validi solo in prossimità della sorgente, infatti grazie al rimescolamento turbolento il peak-to-mean ratio si riduce col trascorrere del tempo dal rilascio in atmosfera. Per descrivere ciò, Mylne e Mason (1991) hanno derivato la seguente espressione per il peak-to-mean ratio che include una attenuazione esponenziale dipendente dal rapporto tra tempo di volo  $T$  e tempo Lagrangiano  $T_L$ :

$$\Psi = 1 + (\Psi_0 - 1) \exp\left(-0,7317 \frac{T}{T_L}\right)$$

In LAPMOD la stabilità atmosferica viene individuata al momento del rilascio della particella e viene utilizzata per assegnare alla particella il valore  $\Psi_0$ . Il tempo Lagrangiano viene calcolato come media pesata sugli spostamenti della particella nel tempo di volo

$$T_L = \sum_i \Delta t_i$$

sulla base dei valori incontrati dalla particella lungo la propria traiettoria, e tale valore viene utilizzato per il calcolo del rapporto  $\frac{T}{T_L}$

$$\frac{T}{T_L} = \frac{T^2}{(\sum_i T_{L_i} \Delta t_i)}$$

Il tempo Lagrangiano può essere interpretato come un indicatore della correlazione tra due tempi successivi del moto turbolento di una particella. Poiché il tempo Lagrangiano ha un valore diverso per le tre componenti spaziali, si utilizza cautelativamente il valore maggiore (Bellasio e Bianconi, 2012; Manuale d'uso LAPMOD).

### 6.3.3 Lapost

Il software LAPOST, post-processore delle concentrazioni del modello Lagrangiano LAPMOD, legge il file di output binario contenente le concentrazioni predette dal modello LAPMOD, e lo analizza producendo in output le statistiche di interesse. Il post-processore, partendo da un file contenente un intero anno di concentrazioni, può calcolare la media annuale, i massimi orari, uno specifico percentile dei massimi orari, i massimi giornalieri ed il loro specifico percentile, ed i massimi della media mobile di 8 ore (Manuale d'uso LAPOST).

## 7 IL CASO DI STUDIO

Il lavoro svolto rientra nella prima fase di un progetto della durata di 3 anni. Nella Figura 7.1 sono riportate, in modo schematico, le diverse fasi del lavoro svolto nel 2015. Inizialmente è stato organizzato un incontro con i cittadini dell'area di studio, sia per informarli del progetto sia per reclutare le persone disposte a compilare le schede di segnalazione dell'odore. Le schede compilate, relative all'estate 2015, sono state utilizzate per confrontare le segnalazioni con le stime simulate dal modello. La simulazione modellistica è stata a sua volta elaborata a partire dall'individuazione e caratterizzazione delle sorgenti rappresentative del caso di studio, da cui sono state a sua volta elaborate le emissioni. La caratterizzazione è stata condotta determinando la concentrazione di odore con la tecnica dell'olfattometria dinamica e, a partire dalle concentrazioni di odore in  $OU/m^3$ , è stata fatta una stima delle emissioni di tutte le sorgenti presenti nel comparto che, insieme alle caratteristiche geometriche delle sorgenti e alla meteorologia, sono state inserite nel modello. Infine i files di output sono stati elaborati in sistemi informativi (GIS) per ottenere le mappe di isoconcentrazione così come definito dalle linee guida della Lombardia.

Nel 2016 è prevista un'altra compilazione delle schede di segnalazione degli odori da parte dei cittadini, mentre la nuova campagna di campionamento e la relativa analisi olfattometrica serviranno per l'addestramento di un naso elettronico che servirà per la realizzazione di una futura campagna di monitoraggio. L'elaborazione delle schede servirà sempre per una prima validazione delle tecniche per valutare l'impatto odorigeno.

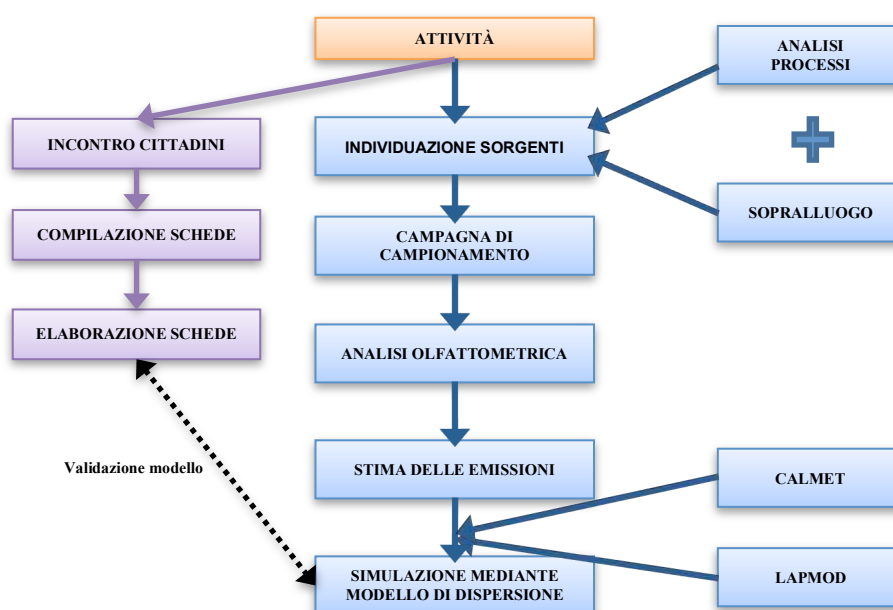


Figura 7.1: Schema concettuale delle attività svolte nell'anno 2015.



## 7.1 IL COMPLESSO IMPIANTISTICO

Il sito oggetto di questa tesi è un complesso impiantistico per la gestione integrata dei rifiuti. Il comparto è stato realizzato a partire dall'anno 1989 su un terreno precedentemente destinato ad uso agricolo e, ad oggi, comprende una serie di impianti per l'intero ciclo di trattamento dei rifiuti liquidi, solidi e fangosi.

Gli impianti presenti nel sito sono i seguenti:

- discarica per rifiuti non pericolosi;
- discarica per rifiuti pericolosi, in fase di gestione post-operativa;
- impianto di produzione di Combustibile Solido Secondario (CSS);
- impianto di termovalorizzazione di CSS (IRE);
- impianto di trattamento chimico-fisico (TCF);
- impianto di disidratazione fanghi (DISIDRAT);
- impianto di produzione di energia elettrica da biogas, prodotto dalla discarica per rifiuti non pericolosi;
- centro di stoccaggio e pretrattamento rifiuti urbani e speciali anche pericolosi.

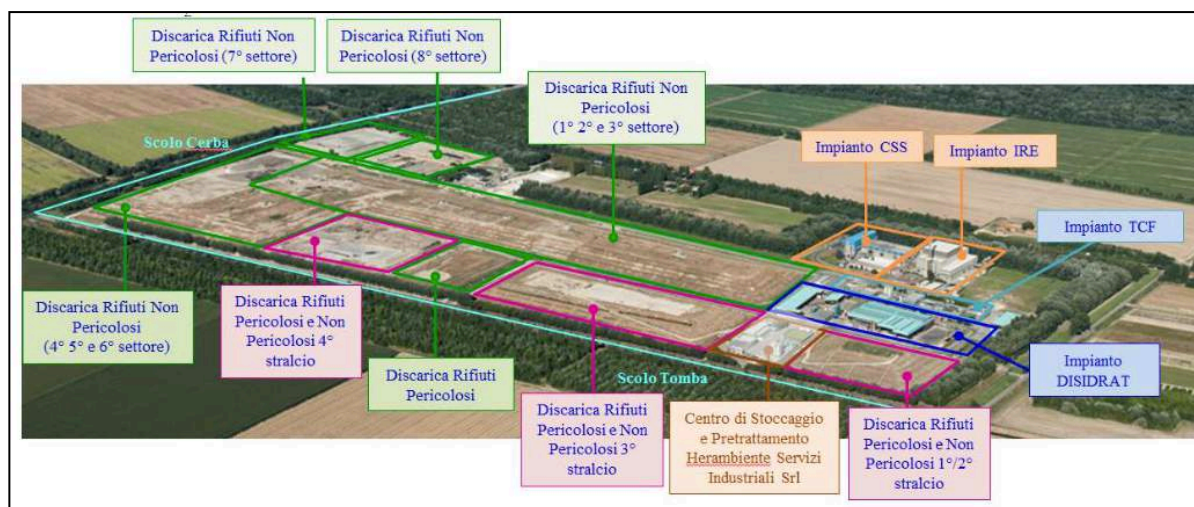


Figura 7.2: Ubicazione degli impianti del comparto.

## 7.2 CONTESTO TERRITORIALE

Il polo integrato di trattamento rifiuti è collocato a Ravenna, al km 2,6 n.272 della Strada Statale Romea. Tale sito, che occupa un'area pressoché rettangolare con un'estensione di circa 110 ettari, confina a Est con la S.S. 309 Romea, a Sud con la strada comunale via Guiccioli, a Nord con lo scolo Cerba e ad Ovest con lo Scolo Tomba.



Figura 7.3: Inquadramento territoriale del sito impiantistico.

Il comparto, localizzato in zona di recente bonifica, si colloca al margine fra una matrice agricola ed una naturale, in prossimità di aree protette e di aree di particolare pregio ambientale denominate Siti di importanza comunitaria (SIC, designate ai sensi della “Direttiva habitat” n. 92/43/CEE), a cui si aggiungono le Zone di Protezione Speciale (ZPS, previste dalla “Direttiva Uccelli” n. 79/409/CEE). Inoltre, sul lato nord dello scolo Cerba, il comparto confina con il limite del Parco Regionale del Delta del Po, mentre a Nord e ad Est, ad una distanza di circa 30 metri dalla S.S Romea e dallo scolo Cerba, confina con il limite di piano territoriale di stazione (Parco del Delta).

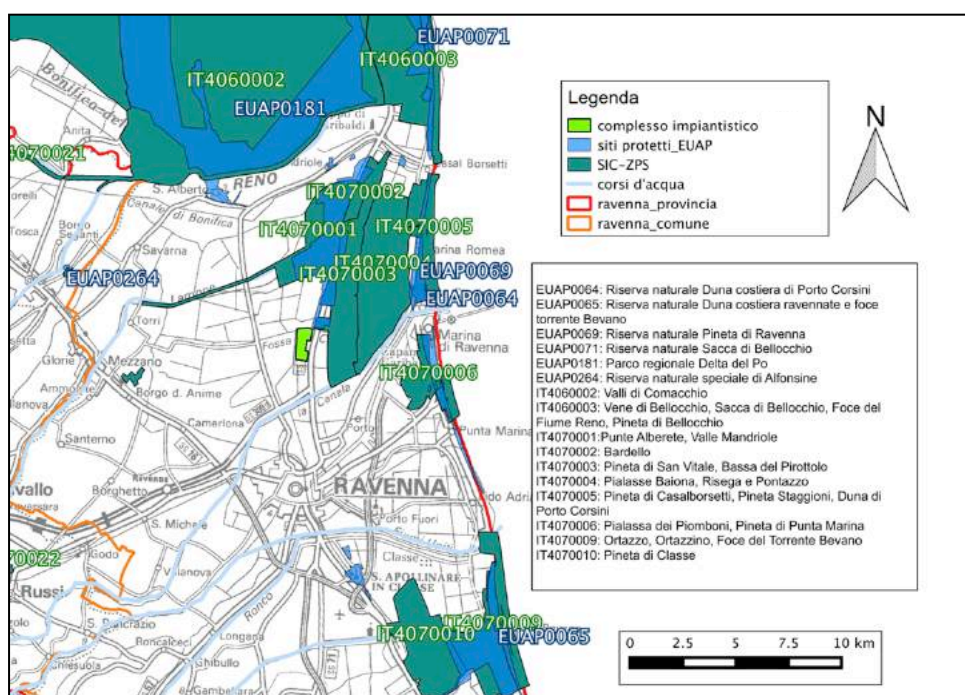


Figura 7.4 Zone di pregio comunitario.

### **7.3 QUALITÀ DELL'ARIA**

Lo stato della qualità dell'aria nel territorio ravennate (rilevato dalla rete di controllo della qualità dell'aria) mostra come, per alcuni inquinanti, i valori siano diminuiti nel corso del tempo e le concentrazioni rilevate siano ormai inferiori ai limiti previsti dalla normativa (es: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, benzene). Situazioni di criticità vengono, invece, rilevate per (Lucialli et al., 2014):

- O<sub>3</sub>: nel 2014 su 3 stazioni di monitoraggio Arpae sono stati riscontrati superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana (massima media giornaliera di 8 h di 120 ug/m<sup>3</sup> da non superare più di 25 giorni l'anno - come media di tre anni), del valore obiettivo per la vegetazione (AOT40 inferiore a 18000 come media degli ultimi 5 anni) e della soglia di informazione (pari a 180 ug/m<sup>3</sup> come media oraria; oltre tale livello la normativa prevede vengano assicurate informazioni adeguate e tempestive per la popolazione).
- Particolato PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>: nonostante nel 2014 non siano stati rilevati superamenti dei limiti normativi nelle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria della provincia, la valutazione per il particolato non può considerarsi positiva, sia per le concentrazioni piuttosto significative che si sono rilevate nel periodo invernale, sia per la pericolosità di questo inquinante per la salute umana.

### **7.4 IL CICLO PRODUTTIVO**

In generale, la prevalenza dei conferimenti al comparto riguarda i rifiuti di provenienza civile e produttiva, come i fanghi da depurazione, gli scarti degli impianti di selezione del rifiuto urbano indifferenziato e i percolati prodotti nelle discariche interne ed esterne alla Società. Una quota rilevante del rifiuto in ingresso è costituito anche dal rifiuto urbano “tal quale” destinato all'impianto di produzione del CSS e alla discarica per rifiuti non pericolosi. Quantitativi minori sono rappresentati da imballaggi provenienti da attività produttive, da rifiuti liquidi pretrattati e dalle acque di prima pioggia derivanti da stabilimenti produttivi.

Nei paragrafi seguenti verrà descritto in modo sintetico il ciclo produttivo di ciascun impianto, concentrando l'attenzione sugli aspetti che contribuiscono alle emissioni odorigene. Tutte le informazioni e le tabelle sono tratte dalle Dichiarazioni Ambientali relative agli anni 2010 - 2015 e dall'autorizzazione AIA 25/05/2015, documentazione reperibile nel sito della società ([www.gruppohera.it](http://www.gruppohera.it) ultimo accesso: 09/12/2015).

Nella determinazione del livello di odorosità delle diverse sorgenti, l'attenzione si è concentrata sulle emissioni areali, considerate più significative di quelle convogliate. Anche perché, diverse emissioni vengono convogliate al camino E1 del TCF il quale, come spiegato in seguito, ha un sistema di abbattimento di sostanze odorigene.

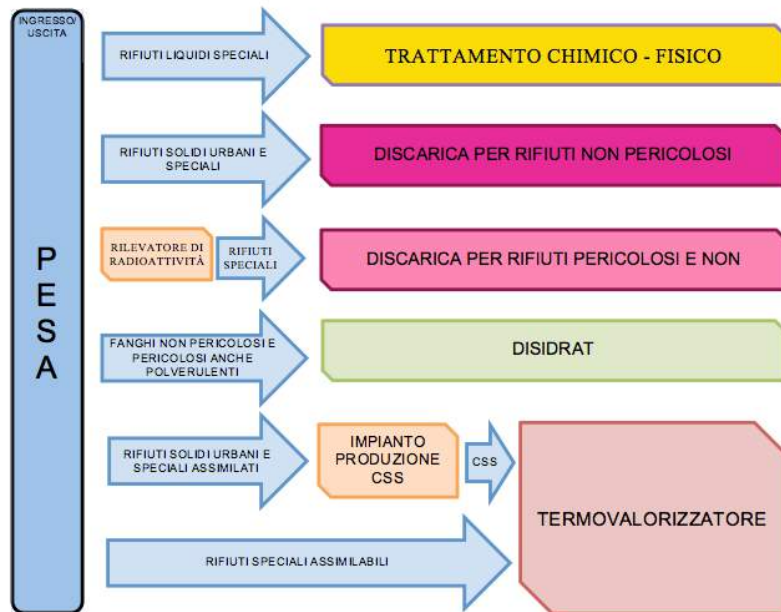


Figura 7.5: Flussi in ingresso.

#### 7.4.1 Impianto di produzione CSS e biotunnel



Figura 7.6: Impianto di produzione CSS e biotunnel.

L'impianto di produzione CSS è un impianto di trattamento di rifiuti indifferenziati finalizzato alla successiva fase di termovalorizzazione. Il processo si realizza attraverso trattamenti diversi: triturazione e separazione della frazione fine, dell'umido e della frazione ferrosa. Il risultato è un rifiuto speciale che concentra le frazioni ad alto potere calorifico.

Nel piazzale attiguo si svolge l'attività di trattamento biologico tramite biostabilizzazione accelerata del primo sovrullo umido proveniente dall'impianto di produzione CSS. Il trattamento biologico, tramite bioossidazione accelerata del sovrullo umido con la tecnica del biotunnel in sito, è finalizzato all'ottenimento di biostabilizzato da recuperare come materiale di ingegneria per la copertura dei rifiuti in discarica per una potenzialità massima annua autorizzata di 26.000 ton/anno. Il processo di trasformazione della frazione umida in una componente solida recuperabile, realizzato all'interno di 7 biotunnel in parallelo, permette il recupero dei rifiuti e il risparmio di materiali vergini, oltre alla riduzione dei volumi conferiti in discarica (dopo la fase di insaccamento, il biotunnel viene opportunamente aperto superiormente e coperto da teli a carboni attivi con la funzione di abbattere eventuali emissioni di sostanze odorogene).

**Tabella 7.1: Riepilogo ingressi - impianto di produzione CSS, i valori sono espressi in tonnellate (t).**

<b>Rifiuti in ingresso</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Rifiuti Urbani	127.256	121.916	104.800	121.683	114.473	104.072	101.057	111.645
Rifiuti Speciali	6.832	13.173	19.515	15.937	33.889	70.528	66.689	35.412
<b>Totale Ingressi</b>	<b>134.088</b>	<b>135.089</b>	<b>124.315</b>	<b>137.620</b>	<b>148.362</b>	<b>174.600</b>	<b>167.746</b>	<b>150.057</b>

L'impianto è autorizzato a trattare un quantitativo di rifiuti pari a 180.000 ton/anno. Come visibile in Tabella 7.1, negli anni si è registrato un aumento dei quantitativi di rifiuti in ingresso fino al 2012. Dal 2012 si registra una inversione di tendenza. I rifiuti in ingresso all'impianto di produzione CSS, tutti non pericolosi, provengono dalla raccolta dei rifiuti urbani della Provincia di Ravenna e in quota inferiore (mediamente pari al 35% in peso) dalla raccolta di rifiuti speciali provenienti da attività produttive con caratteristiche tali da permettere il trattamento finale in impianti destinati ai rifiuti urbani (carta, film plastici, legno, imballaggi ecc.).

### **Biostabilizzazione**

Il rifiuto umido prodotto nella fase di selezione primaria viene trasportato tramite automezzo in una piazzola di stoccaggio, delimitata su due lati da barriere mobili, prima del caricamento alla sezione di biostabilizzazione costituita da 7 biotunnel in parallelo.

Il trattamento del materiale organico prevede due fasi; nella fase meccanica, il sovrullo umido è caricato mediante pala meccanica in una macchina denominata "insacatrice" che ha lo scopo di introdurre il rifiuto in un contenitore tubolare in polietilene chiamato "biotunnel". Dopo la fase di insaccamento, il biotunnel viene opportunamente aperto superiormente e coperto da teli a carboni attivi con la funzione di abbattere eventuali emissioni di sostanze odorogene. La fase biologica ha inizio, invece, con il collegamento dei ventilatori ai condotti di areazione posati all'interno del biotunnel, che consentono il ricircolo dell'aria permettendo le condizioni

aerobiche. L'inizio del processo aerobico provoca un aumento controllato della temperatura all'interno del biotunnel, rilevato da specifiche sonde collegate ad un sistema di controllo che regola così la portata d'aria dei ventilatori, allo scopo di raggiungere le migliori condizioni operative per il processo. Terminata la fase biologica, dalla durata pari ad almeno 21 giorni, il materiale biostabilizzato viene estratto ed avviato direttamente in discarica come materiale di recupero per la copertura giornaliera della discarica.

#### 7.4.2 Impianto di termovalorizzazione di CSS (IRE)

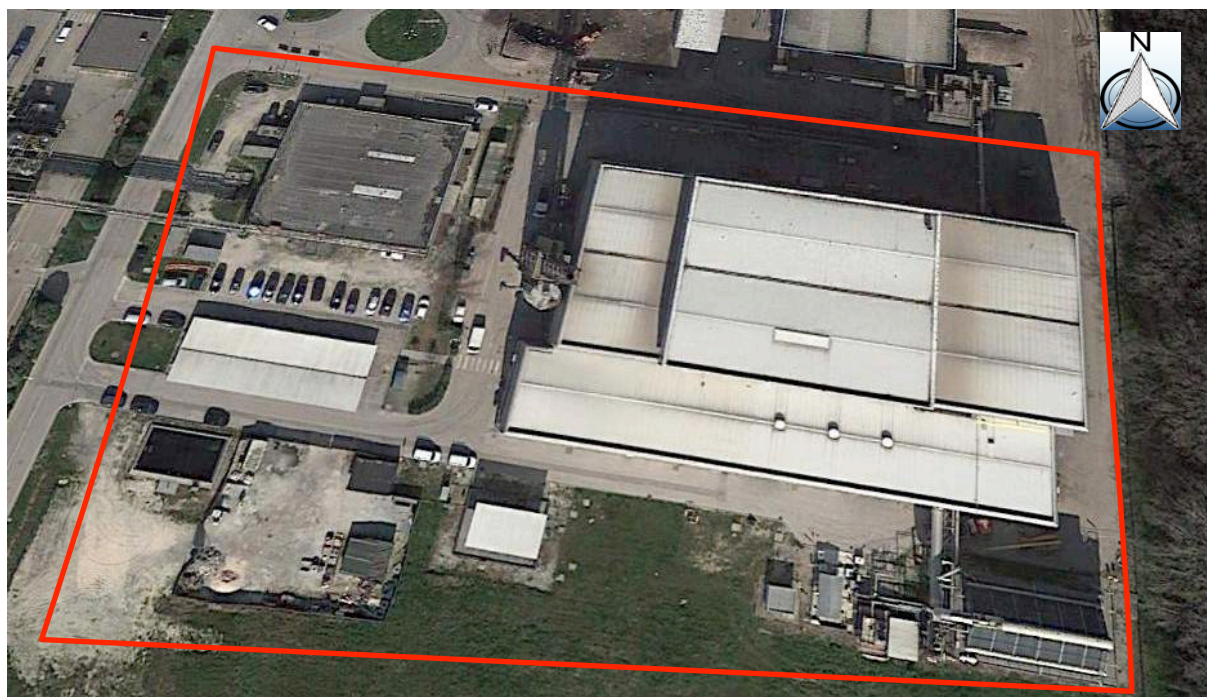


Figura 7.7: Impianto di termovalorizzazione di CSS (IRE).

L'impianto di termovalorizzazione effettua l'incenerimento di CSS con contestuale recupero energetico del calore dei fumi.

L'impianto è autorizzato a trattare CSS, rifiuti speciali assimilabili agli urbani e rifiuti sanitari a rischio infettivo per un quantitativo massimo pari a 56.500 tonnellate/anno. In Tabella 7.2 sono indicati i quantitativi dei rifiuti in ingresso al termovalorizzatore. In merito ai rifiuti sanitari gli ingressi sono stati nulli. Mediamente circa il 99% del rifiuto in ingresso al termovalorizzatore è costituito da CSS prodotto nell'adiacente impianto e, in quota trascurabile, di provenienza esterna. Il CSS e i rifiuti speciali assimilabili agli urbani, stoccati nel silo, vengono trasferiti ad un sistema di dosaggio posto in prossimità del combustore che aggiunge automaticamente il combustibile per garantire che il processo di combustione rimanga all'interno dei parametri ottimali.

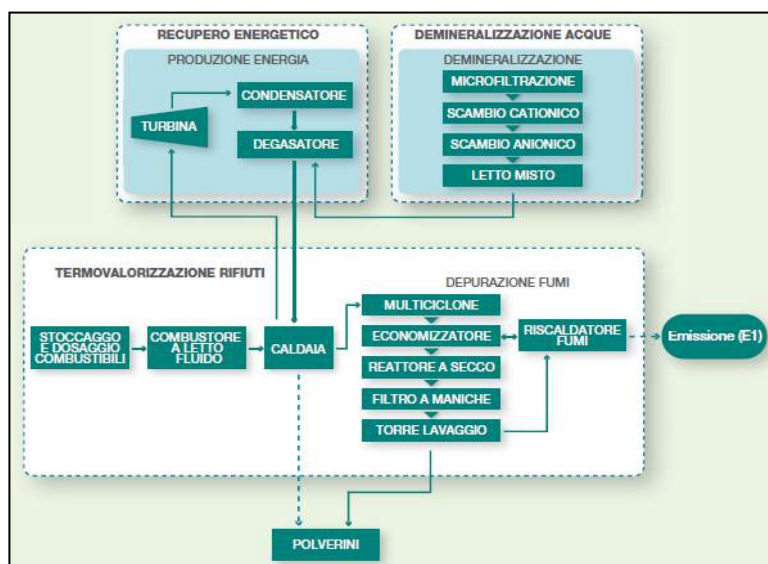


Figura 7.8: Ciclo produttivo del termovalorizzatore.

Tabella 7.2: Riepilogo rifiuti termo valorizzati, i valori sono espressi in tonnellate (t).

Rifiuti in ingresso	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Rifiuto speciale NP costituito da CSS	47.349	48.716	42.604	42.124	41.531	44.211	46.641	49.525
Atro rifiuto speciale NP	347	371	197	699	588	640	1.232	979
<b>Totale Ingressi</b>	<b>47.696</b>	<b>49.086</b>	<b>42.801</b>	<b>42.823</b>	<b>42.118</b>	<b>44.851</b>	<b>47.837</b>	<b>50.504</b>

### 7.4.3 Impianto di trattamento chimico-fisico (TCF)



Figura 7.9: Impianto di trattamento chimico-fisico (TCF).

L'impianto tratta rifiuti speciali liquidi anche pericolosi di origine prevalentemente produttiva per convertirli in reflui depurati per un quantitativo pari a 220.000 ton/anno. Il trattamento si realizza mediante processi chimici (uso di reagenti) e fisici (uso di ausili meccanici).

Gli ingressi possono essere aggregati per provenienza e per modalità di approvvigionamento in:

- flussi interni, da impianti/strutture del sito, convogliati tramite condotta;
- rifiuti liquidi industriali, conferiti tramite autobotti.

I conferimenti di rifiuti tramite condotta costituiscono mediamente l'80% del totale degli ingressi

e si compongono di: percolati di discarica, acque di processo da impianto DISIDRAT, acque di lavaggio fumi da impianto CSS/IRE, acque meteoriche provenienti dal comparto. I rifiuti in ingresso sono prevalentemente non pericolosi e, tra questi, il contributo maggiore è dato dal percolato da discariche. I rifiuti pericolosi, invece, sono costituiti principalmente da emulsioni oleose e da reflui provenienti da impianti esterni al gruppo.

**Tabella 7.3: Riepilogo ingressi impianto – TCF, i valori sono espressi in tonnellate (t).**

<b>Rifiuti in ingresso</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Rifiuti Non Pericolosi	150.266	157.342	156.545	182.998	104.611	104.712	153.407	163.260
Rifiuti Pericolosi	40.007	34.252	31.163	30.935	36.134	11.813	21.048	23.188
<b>Totale Ingressi</b>	<b>190.273</b>	<b>191.594</b>	<b>187.708</b>	<b>213.933</b>	<b>140.745</b>	<b>116.525</b>	<b>174.455</b>	<b>186.448</b>

### **Emissioni convogliate**

L'impianto è dotato di un sistema di abbattimento delle emissioni, afferenti in un unico punto (E1), provenienti dalle aree di stoccaggio e trattamento dell'impianto, mediante un sistema di aspirazione forzato. Gli effluenti gassosi sono sottoposti a trattamento tramite passaggio in un filtro costituito da minerali naturali assorbenti (zeoliti), opportunamente pretrattati, e da una soluzione impregnante deodorizzante. Tutte le vasche delle sezioni di trattamento sono installate all'interno del capannone adibito al trattamento chimico-fisico dell'impianto e collegate al sistema di aspirazione e contenimento delle emissioni odorigene, a cui sono convogliati anche gli sfiati di tutte le vasche di stoccaggio dei rifiuti in ingresso che sono coperte e mantenute in aspirazione. Il sistema di abbattimento è sottoposto regolarmente a manutenzione e monitorato annualmente attraverso analisi degli effluenti in uscita dal filtro. Le analisi riguardano i principali inquinanti atmosferici di natura odorigena (sostanze organiche volatili, ammoniaca e anidride solforosa) con lo scopo principale di verificare l'efficacia di abbattimento dell'impianto di trattamento delle emissioni. Gli esiti dei monitoraggi analitici del 2013 hanno evidenziato il pieno rispetto dei limiti per tutti i parametri monitorati.



**Figura 7.10: Sistema di trattamento delle emissioni.**



#### 7.4.4 Discarica per rifiuti non pericolosi e pericolosi



Figura 7.11: Discariche presenti all'interno del comparto.

All'interno del comparto sono presenti i seguenti impianti di discarica:

**Discarica per rifiuti non pericolosi** costituita da 1°, 2° e 3° settore in gestione post-operativa; 4°, 5°, 6° e 7° settore per i quali la coltivazione risulta ultimata per esaurimento delle volumetrie disponibili e sono attualmente in attesa della copertura definitiva; 8° settore in coltivazione da novembre 2014. Tale settore è articolato in due sottosettori per un volume complessivo utile di abbancamento pari a 304.262 m<sup>3</sup>, corrispondente ad una capacità di smaltimento pari a circa 342.837 tonnellate mentre i precedenti sette settori, ad oggi esauriti, hanno complessivamente una capacità, a volume assestato, di oltre 3.400.000 m<sup>3</sup>. A questi si aggiunge un 9° settore in progetto per il quale è stata attivata la procedura di VIA con contestuale richiesta di AIA.

**Discarica per rifiuti pericolosi**, entrata in esercizio nel 1994, con una volumetria utile disponibile autorizzata pari a 50.000 m<sup>3</sup>, esaurita nel Novembre del 2008, data in cui si è dato formalmente avvio alla fase di gestione post-operativa.

**Discarica 1°/2° stralcio per rifiuti pericolosi e non**, costituita da cinque lotti con capacità complessiva di circa 530.000 m<sup>3</sup> e che ha esaurito la propria volumetria disponibile nel corso del 2010, a meno dei primi cedimenti legati all'assestamento rifiuti.

**Discarica 3° stralcio per rifiuti pericolosi e non**, entrata in esercizio nel 2000 e costituita da quattro lotti con capacità complessiva di circa 160.000 m<sup>3</sup>, esaurita da gennaio 2008. Ora in fase di gestione post-operativa.

**Discarica 4° stralcio per rifiuti pericolosi**, operativa dal 2008, è costituita da due distinti settori confinati, comprendenti ognuno 3 vasche, per una capacità complessiva di circa 420.000 m<sup>3</sup>, gestiti in modo specifico e di fatto come due discariche separate. I due settori dedicati, rispettivamente, ai rifiuti pericolosi e non sono separati mediante una adeguata barriera di confinamento artificiale e/o naturale progettata in modo tale da separare i percolati prodotti.

Ciascun settore e sottosectore delle discariche presenta un sistema autonomo di captazione del percolato come visibile nella Figura 7.12 e Figura 7.13.

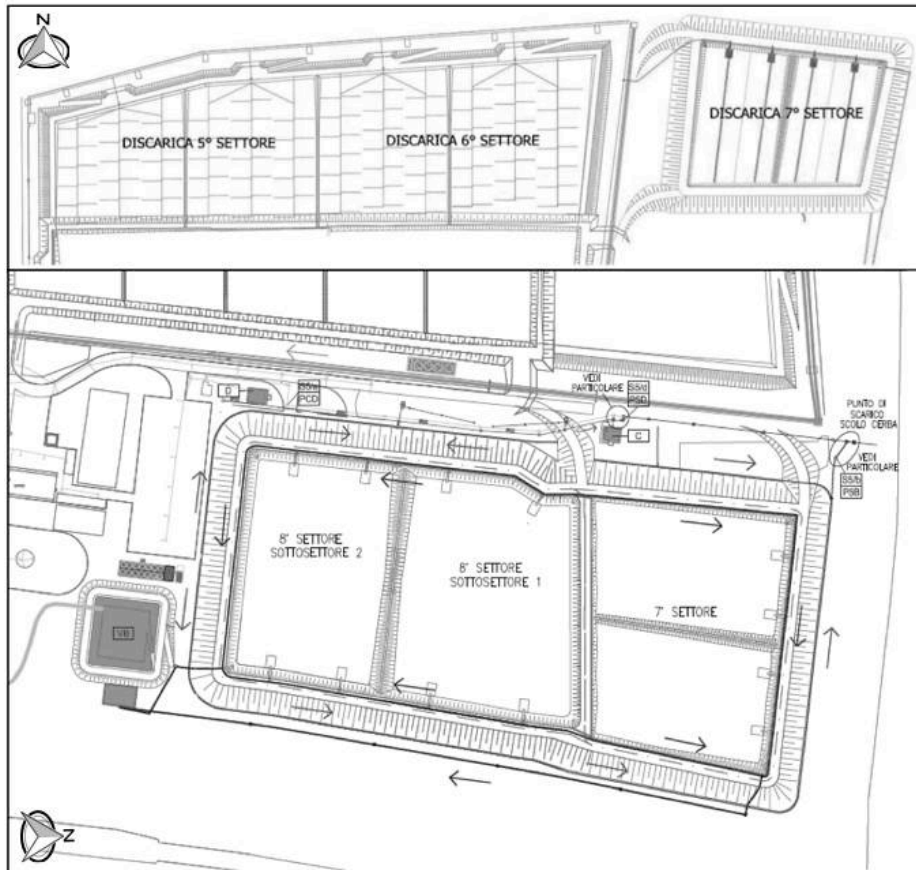


Figura 7.12: Planimetria del 5°, 6° e 7° (in alto) e 7° e 8° (in basso) settore della discarica non pericolosi.

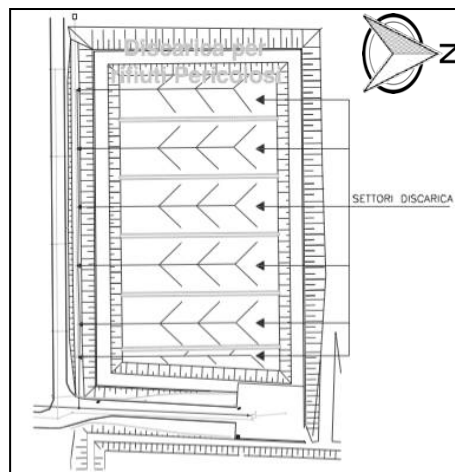


Figura 7.13: Planimetria della vasca di fondo della discarica per rifiuti pericolosi.

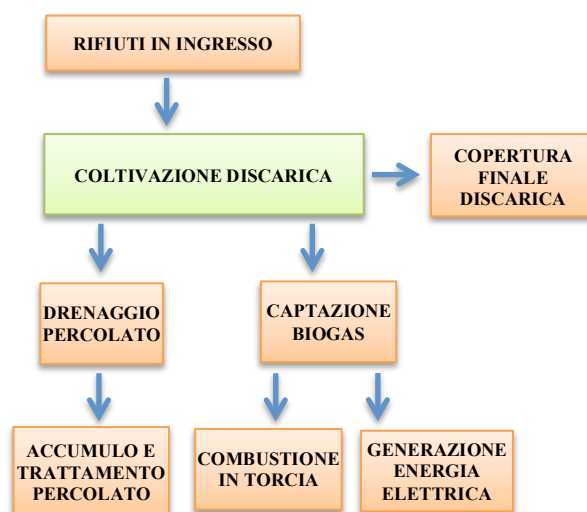


Figura 7.14: Ciclo produttivo della discarica per rifiuti non pericolosi.

### Rifiuti in ingresso

Ad oggi gli impianti di discarica attivi sono la discarica per rifiuti non pericolosi, attualmente interessata dalla coltivazione dell'8° settore e la discarica 4° stralcio per rifiuti pericolosi e non. Nella **discarica per rifiuti non pericolosi**, la quota di rifiuto urbano indifferenziato in ingresso, seppur minima, è rappresentata da rifiuto di spazzamento della viabilità interna al comparto e dal rifiuto tal quale proveniente dalla raccolta urbana, qualora il vicino impianto di produzione CSS fosse momentaneamente inattivo. I rifiuti speciali, invece, sono rappresentati da rifiuti provenienti da impianti di selezione e trattamento della Società come i sovvalli e i fanghi biologici stabilizzati e rifiuti provenienti da produttori primari. Per le operazioni di copertura dei rifiuti abbancati si utilizzano rifiuti recuperabili, tra cui in percentuale maggiore viene impiegata la frazione organica stabilizzata (FOS) e sovvallone risultante dalla linea di stabilizzazione adiacente all'impianto di produzione CSS, ma anche fanghi disidratati e sabbia da pulizia degli arenili, che sono in grado di sostituirsi a materie prime naturali di maggior pregio (ghiaia, sabbia, terreno) che in tal modo non sono sottratte all'ambiente naturale. In Tabella 7.4 è riportato il riepilogo dei rifiuti in ingresso alla discarica. Negli ultimi 4 anni si assiste ad una rilevante diminuzione degli ingressi, in particolare il decremento dei rifiuti speciali è legato all'attuale situazione di recessione economica che investe il tessuto economico-produttivo nazionale.

**Tabella 7.4: Riepilogo ingressi - discarica per rifiuti non pericolosi, i valori sono espressi in tonnellate (t).**

Rifiuti in ingresso	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
R. urbani	19.836	20.824	33.986	18.381	9.249	6.590	11.337	10.753
R. speciali	176.110	182.148	252.161	279.161	195.757	154.378	86.695	119.716
<b>Totale Smaltito</b>	<b>195.946</b>	<b>202.972</b>	<b>286.147</b>	<b>297.542</b>	<b>205.006</b>	<b>160.968</b>	<b>98.032</b>	<b>130.469</b>
R. recuperati in operazioni copertura (gestionale e finale)	54.097	77.190	102.866	80.372	58.048	37.269	33.089	26712
<b>Totale ingressi</b>	<b>250.043</b>	<b>280.162</b>	<b>389.013</b>	<b>377.914</b>	<b>263.054</b>	<b>198.237</b>	<b>131.121</b>	<b>157.181</b>

Nella tabella seguente sono indicati i quantitativi di rifiuti in ingresso dal 2012 al 2014 per la **discarica 4° stralcio**. I rifiuti sono prevalentemente non pericolosi, costituiti in maggior parte da rifiuti stabilizzati/disidratati, da fanghi da trattamento acque reflue, fanghi da filtropressatura e ceneri e scorie. I rifiuti pericolosi, invece, sono costituiti prevalentemente da rifiuti inertizzati e secondariamente da ceneri pesanti e scorie.

**Tabella 7.5: Riepilogo ingressi - discariche per rifiuti pericolosi e non pericolosi, i valori sono espressi in tonnellate (t).**

<b>Rifiuti in ingresso</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Rifiuti speciali non pericolosi	37.435	70.966	73.672
Rifiuti speciali pericolosi	24.453	21.596	13.738
<b>Totale Smaltito</b>	<b>61.888</b>	<b>2.562</b>	<b>87.410</b>

### **Coltivazione discarica**

A scarico avvenuto, il rifiuto viene spinto verso la zona di abbancamento e sottoposto alle operazioni di compattazione al fine di massimizzare la densità del rifiuto depositato. L'operazione assicura un'elevata stabilità del corpo di discarica, minimizza i volumi delle acque di infiltrazione, riduce il fenomeno della penetrazione di insetti e roditori nel corpo di accumulo e limita, infine, la possibilità di ingresso di aria evitando il pericolo di incendio. Giornalmente, al termine dei conferimenti, viene effettuata l'operazione di copertura del rifiuto con lo scopo di contenere le emissioni odorigene, limitare il richiamo di animali indesiderati, soprattutto volatili, e ridurre l'esposizione dei rifiuti agli eventi meteorologici.



**Figura 7.15: Operazioni di copertura giornaliera con biostabilizzato.**

### **Messa in sicurezza**

Si procede alla messa in sicurezza una volta raggiunti quota e profilo esterno massimi per ogni settore. L'operazione ha lo scopo di effettuare il primo confinamento di porzioni del corpo di discarica e al tempo stesso funge da strato di regolarizzazione per la successiva chiusura definitiva. Tale intervento si realizza mediante la messa a dimora di inerti da recupero (fanghi bentonitici/FOS) e successivamente, nella parte superficiale, di uno strato di terreno argilloso di

spessore di circa 40 cm. Ad oggi è completata la regolarizzazione e la messa in sicurezza dei settori 4°, 5°, 6° e 7°.

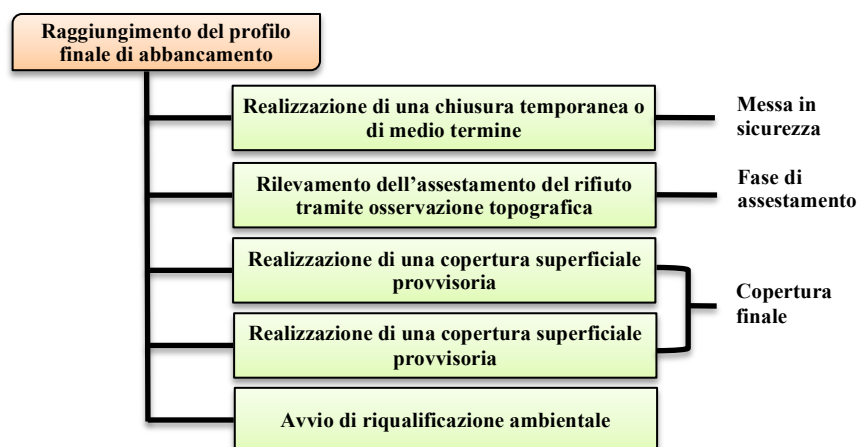


Figura 7.16: Fasi successive alla coltivazione.

### Copertura finale

Una volta esaurita la volumetria utile complessiva di un determinato settore si provvede alla realizzazione degli interventi di chiusura finale suddivisi in: chiusura provvisoria, finalizzata ad isolare la massa dei rifiuti ancora in corso di assestamento, e chiusura definitiva, che completerà il sistema di chiusura ad assestamenti completati recuperando le deformazioni del sistema nel frattempo intervenute. Quest'ultima ha lo scopo di isolare definitivamente i rifiuti depositati nel corpo di discarica ed è completata nei settori 1°, 2° e 3° della discarica per rifiuti non pericolosi e della discarica 3° stralcio. La discarica per rifiuti pericolosi presenta attualmente la copertura provvisoria.

### Captazione e trattamento percolato - Recupero energetico biogas

Il percolato, ovvero il rifiuto liquido generato principalmente per infiltrazione di acqua meteorica nel corpo di discarica, è puntualmente captato e convogliato in una linea di raccolta comune a tutti i settori. Successivamente, tramite condotta, è avviato all'impianto TCF per il trattamento di depurazione.

Nelle discariche per rifiuti pericolosi, per le caratteristiche dei rifiuti conferiti (assenza di materiali organici putrescibili) la formazione di biogas (miscela gassosa costituita prevalentemente da metano e biossido di carbonio) all'interno dei corpi di discarica è ritenuta altamente improbabile. Le discariche di rifiuti urbani producono, invece, per effetto della decomposizione anaerobica della sostanza organica, biogas. In conseguenza delle sue caratteristiche combustibili, il biogas deve essere estratto dalla massa di rifiuti stoccati nella discarica ed essere sottoposto ad un processo di combustione, riducendo nel contempo l'impatto sull'ambiente circostante dovuto, ad esempio, alle emissioni maleodoranti. La percentuale di

metano contenuta nel biogas è in funzione di diverse variabili (umidità, composizione del rifiuto, età del rifiuto) e può subire significative variazioni.



Figura 7.17: Testa di pozzo.

**Tabella 7.6: Parametri maggiormente indicativi nella caratterizzazione energetica del biogas, ottenuti come media dei dati rilevati dai settori di discarica.**

PARAMETRO	U.M.	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
metano	%vol	45,10	44,7	44,5	41,4	47,3	45	41	42,67
anidride carbonica	%vol	25,3	34,8	30,3	31,6	37	39	37,33	30,67
azoto	%vol	19,3	18	19,4	22,6	13*	14,25*	17,95*	12,47
ossigeno	%vol	2,0	1,5	2,53	4,53	2,03	1,50	3,47	3,4
Potere Calorifico Inferiore a 0 °C	kcal/mc	3.771	3.779	3.790	3.500	4.056	3.853	3.511	3.646

\*Calcolato come ossidi di azoto (NOx).

#### 7.4.5 Impianto DISIDRAT



Figura 7.18: Impianto DISIDRAT.

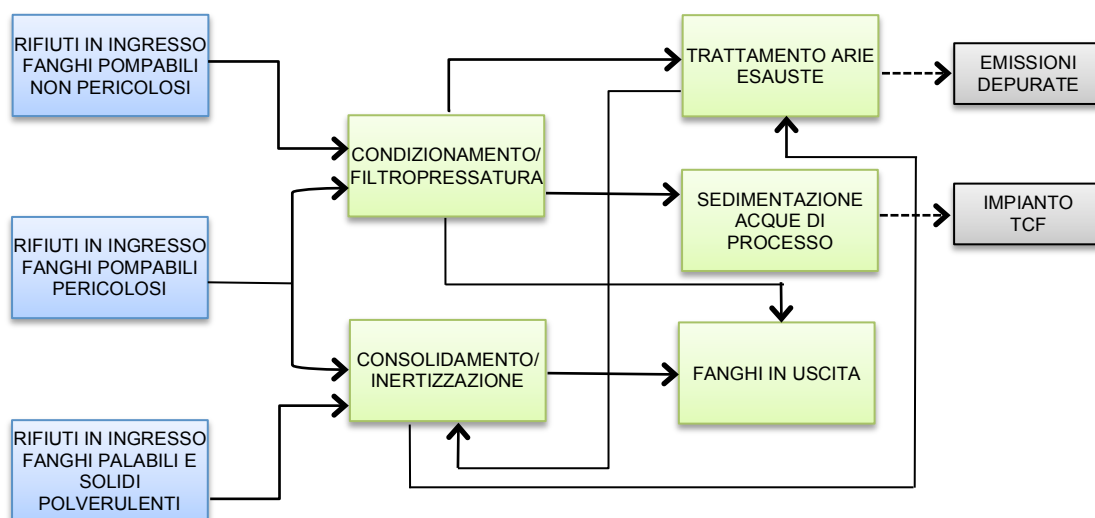
L'impianto DISIDRAT tratta diverse tipologie di rifiuti pompabili, palabili e polverulenti, con il

principale obiettivo di ottenere in uscita delle matrici (rifiuti) che possano per quanto possibile essere destinate al recupero invece che seguire la via dello smaltimento. Il materiale recuperato può essere riutilizzato per la copertura delle discariche, in sostituzione di terreno vegetale vergine o in miniere estere come materiale di riempimento.

L'impianto è costituito da tre linee distinte di lavorazione e trattamento:

- Linea fanghi pompabili non pericolosi (linea 1)
- Linea fanghi pompabili pericolosi (linea 2)
- Linea fanghi palabili e rifiuti polverulenti (linea 3).

Le linee si distinguono per differenti operazioni meccaniche condotte ed anche per differenti reagenti utilizzati. Ciascuna linea di lavorazione/trattamento è costituita a sua volta da una sezione di ricevimento e stoccaggio dei rifiuti in ingresso e da una sezione di trattamento.



**Figura 7.19: Ciclo produttivo impianto DISIDRAT.**

L'impianto è autorizzato a trattare 150.000 ton/anno di fanghi industriali che possono presentare diverse caratteristiche chimico-fisiche:

- fanghi pompabili non pericolosi, costituiti da fanghi provenienti da pulizia di depuratori, piattaforme ecologiche, fanghi da perforazioni petrolifere (offshore) ecc.;
- fanghi pompabili pericolosi, costituiti da fanghi contenenti oli, fanghi provenienti da impianti chimico-fisici o dalla pulizia di corpi tecnici che contengono sostanze pericolose;
- fanghi palabili non pericolosi: fanghi biologici da depuratori delle acque reflue urbane, detriti non pericolosi ecc.;
- fanghi palabili pericolosi, costituiti da terreni di bonifica, fanghi da dragaggio canali, detriti pericolosi ecc.;
- rifiuti polverulenti anche pericolosi costituiti principalmente da ceneri leggere prodotte da impianti di termovalorizzazione della Società e/o da reattivi e catalizzatori esausti.

In Tabella 7.7 sono riportati i quantitativi di rifiuti trattati a partire dalla messa in esercizio dell'impianto. La maggioranza dei rifiuti trattati è rappresentata dai fanghi pompabili non pericolosi, provenienti principalmente da perforazioni petrolifere, pulizie stradali e impianti chimico-fisici, seguono i fanghi palabili non pericolosi provenienti dai depuratori, mentre la percentuale minore è rappresentata da ceneri leggere prodotte dai termovalorizzatori e i fanghi palabili pericolosi originati da attività di bonifica.

**Tabella 7.7: Riepilogo rifiuti trattati (i valori sono espressi in tonnellate).**

<b>Rifiuti in ingresso</b>	<b>2012*</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Rifiuti pompabili non pericolosi	28.375	45.252	56.021
Rifiuti pompabili pericolosi	3.728	6.629	7.572
Rifiuti palabili non pericolosi	14.007	17.911	39.717
Rifiuti palabili pericolosi	4.615	27.248	20.363
Rifiuti polverulenti pericolosi	7.612	22.567	20.180
<b>Totale Ingressi</b>	<b>58.337</b>	<b>119.607</b>	<b>143.853</b>

\* Dati da giugno a dicembre 2012

La linea 1 è dedicata ai fanghi pompabili non pericolosi e ai fanghi ispessiti non pericolosi provenienti via tubo dall'attiguo impianto chimico-fisico. Il fango disidratato in uscita dalla filtropressa viene scaricato in un'area sottostante per poi essere prelevato da una pala meccanica e trasportato o nell'area di deposito o nell'area di maturazione dei fanghi palabili.

Nella linea 3 sono trattati terreni e fanghi palabili pericolosi e non, fanghi biologici, rifiuti solidi polverulenti, fanghi semisolidi pericolosi e non prodotti rispettivamente dalla linea 2 e dalla linea 1 di trattamento. I fanghi sono lavorati in due linee, una dedicata ai rifiuti pericolosi e l'altra ai non pericolosi. Da entrambe le linee i fanghi vengono scaricati all'interno dell'edificio dei fanghi inertizzati in due zone separate, e trasferiti alle corrispettive aree di deposito/maturazione.

In uscita dalle linee sopra menzionate si originano rifiuti sotto forma di fanghi palabili con caratteristiche diverse a seconda del trattamento a cui sono stati sottoposti i rifiuti in ingresso. Tali fanghi palabili vengono stoccati, in cumuli, in strutture di impianto dedicate. Si tratta di due aree attrezzate denominate rispettivamente Area Nord e Area Sud.



**Figura 7.20: Area di deposito/maturazione (sinistra), portellone del magazzino di stoccaggio materiale inertizzato (destra).**



## Emissioni convogliate

L'impianto è dotato di capannoni chiusi all'interno dei quali sono alloggiare le vasche di stoccaggio dei rifiuti potenzialmente odorigeni e dove vengono effettuate le operazioni di trattamento (filtropressatura e inertizzazione). I capannoni sono inoltre mantenuti in depressione mediante sistemi di aspirazione e convogliamento dell'aria esausta a idonei sistemi di abbattimento.

### 7.4.6 Centro di stoccaggio e pretrattamento



Figura 7.21: Centro di stoccaggio e pretrattamento.

Ospita attività di stoccaggio e messa in riserva di rifiuti speciali pericolosi e non pericolosi da inviare successivamente a recupero/riciclaggio o trattamento di smaltimento finale (Centro di Stoccaggio e Pretrattamento); e di trattamento di rifiuti speciali pericolosi e non pericolosi finalizzate a smaltimento finale (processo di inertizzazione).

Tali attività sono svolte all'interno di specifiche sale di lavorazione, comparti e sistemi di stoccaggio ed impianti situati all'interno dello stabilimento, mantenuti in depressione mediante sistemi di aspirazione e convogliamento dell'aria a sistemi di abbattimento.

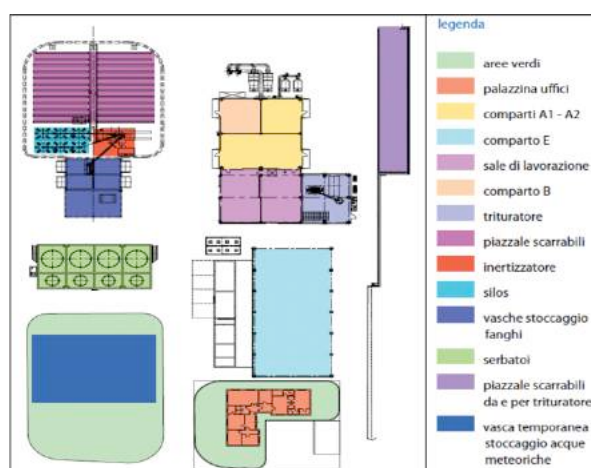


Figura 7.22: Schema centro di stoccaggio e pretrattamento.

## 7.5 PIANO DI CAMPIONAMENTO

Le campagne di monitoraggio sono state effettuate nei giorni di Giovedì 27 Agosto e Lunedì 31 Agosto, indicativamente dalle ore 9:00 alle ore 12:30 per entrambe le giornate. Le condizioni meteorologiche presenti nel comparto in tali giorni e la media mensile di Agosto sono riportate in Tabella 7.8.

**Tabella 7.8: Dati meteorologici comparto nei giorni di campionamento e riepilogo del mese (fonte: CALMET, dati orari).**

Data	T. Min (°C)	T. Med (°C)	T. Max (°C)	PG. Tot (mm)	VV. Med (m/s)	DV. Prev (Sett.)
28/08/15	22,0	25,9	30,4	0,0	2,5	SE
Ore campionamento	28,9	29,7	30,4	0,0	2,2	O
31/08/15	23,4	26,3	31,1	0,0	2,9	ESE
Ore campionamento	29,6	30,3	31,1	0,0	2,5	O
Riepilogo Agosto	17,3	25,3	33,5	62,9	2,6	SE

T=temperatura; PG=pioggia; VV=velocità del vento; DV=direzione del vento.

A monte della realizzazione del piano di campionamento è stata svolta un'accurata attività preliminare di indagine volta all'identificazione delle principali sorgenti emmissive ritenute di criticità odorigena. Tale attività è stata eseguita analizzando il ciclo di processo di ciascun impianto del comparto (paragrafo 7.4) e effettuando sopralluoghi all'interno del comparto.

Le principali sorgenti odorigene, potenzialmente impattanti all'interno del comparto sono elencate in Tabella 7.9 e indicate in Figura 7.23. Le sorgenti individuate, sono da ritenersi rappresentative dell'intero comparto.

Il numero totale di campionamenti effettuati è pari a 20: 2 campioni per ogni sorgente considerata, per un totale di 10 sorgenti. Il numero di sorgenti campionate è limitato a 5 al giorno, considerato come numero massimo di campioni esaminabili nello stesso giorno dal panel di analisti olfattometrici.

Ad eccezione della sorgente n°5 (pozzetto di percolato), che è stata campionata per mezzo della cappa statica, gli altri campioni sono stati prelevati tramite wind tunnel. Abbiamo utilizzato la cappa statica per il pozzetto di percolato, anche se non è una sorgente areale con flusso proprio, per facilitare il prelievo del campione. Nella simulazione è stato tenuto conto della metodologia di campionamento utilizzata per le varie tipologie di sorgente.

**Tabella 7.9: Punti di campionamento.**

27/08/2015	
1	Discarica NP - area di coltivazione
2	Discarica NP - copertura giornaliera
3	Rifiuto triturato pronto per l'incenerimento (CSS)
4	Biotunnel in fine lavorazione
5	Percolato
31/08/2015	
6	Fanghi palabili – cumulo stoccaggio, ingresso impianto
7	Fanghi palabili – cumulo stoccaggio, uscita impianto
8	Fanghi palabili – cumulo movimentato, uscita impianto
9	Ceneri inertizzate
10	Vasca decantaggio fanghi



**Figura 7.23: Identificazione sorgenti odorogene all'interno del comparto di studio.**

## **7.6 ANALISI OLFATTOMETRICA**

Le misure olfattometriche per la determinazione della concentrazione di odore sono state effettuate presso il Laboratorio Olfattometrico dell'Arpae di Modena, tramite l'ausilio di un olfattometro TO8 (produttore Odourent GmbH) in accordo con la norma UNI EN 13725 (Figura 7.24). Le caratteristiche dell'olfattometro sono riportate in Tabella 7.10. Nello stesso momento due esaminatori inspirano e due espirano; durante la fase di inspirazione di 2,2 secondi dalla bocchetta di un esaminatore esce il campione diluito, mentre da quella dell'altro esce aria neutra; nello stesso momento, dalle altre due bocchette esce una piccola portata di aria (fase di espirazione, durata di 2,2 s). Poiché l'aria neutra e il campione diluito vengono presentati in due aspirazioni consecutive, gli esaminatori hanno la possibilità di effettuare un confronto diretto, in questo modo l'affidabilità dei risultati è notevolmente aumentata. La concentrazione di odore è data dall'elaborazione delle soglie dei 4 esaminatori in 3 cicli di presentazione del campione. I

primi 2 giri, ovvero i primi 4 respiri, sono di aria neutra; dopodiché, a respiri alternati viene presentata aria neutra, in questo modo, è possibile fare un confronto diretto tra due inspirazioni successive (Manuale d'uso olfattometro).



Figura 7.24: Laboratorio di analisi olfattometriche operante come centro olfattometrico regionale, Arpae Modena.

Tabella 7.10: Caratteristiche dell'olfattometro TO8 in accordo alla norma UNI EN 13725.

Caratteristiche	Olfattometro Modena
Numero panelist	4 (x 2)*
Portata volumetrica di presentazione della miscela odorigena	Min. 1,2 m <sup>3</sup> /h per ogni postazione (fase di inalazione)
Diluizione	# 2 <sup>2</sup> : 2 <sup>16</sup>
Intervallo tra i fattori di diluizione	Fattore 2
Deviazione standard del fattore di diluizione Z	< 10%
Tempo di risposta	< 1 sec
Volume di campione richiesto	8 l
Metodologia	Si/No
Metodo diluizione	<i>n-butano</i>

\* il test viene fatto 2 volte con team diversi.

# il campo di diluizione è estensibile in modo illimitato tramite la pre-diluizione del campione.

I risultati ottenuti dalla analisi olfattometrica sono riportati in Tabella 7.11 (utilizzando 8 panel l'incertezza risulta essere del 28%). Le concentrazioni misurate sono tutte comprese all'interno dei valori di OU/m<sup>3</sup> riscontrati in letteratura; per il biostabilizzato e le ceneri inertizzate non sono state trovate fonti bibliografiche. Gli ampi intervalli dei valori bibliografici sono da attribuirsi alle diverse metodologie di trattamento e all'ampia tipologia di rifiuti; gli intervalli sono stati attribuiti cercando di ottenere la massima corrispondenza tra la tipologia di sorgente campionata con la sorgente definita in letteratura; per maggiori dettagli sui dati di letteratura si rimanda ai lavori menzionati in tabella.

**Tabella 7.11: Concentrazione di odore e relativa incertezza delle sorgenti campionate.**

SORGENTE	OU/m <sup>3</sup>	INCERTEZZA	DATI BIBLIOGRAFICI (OU/m <sup>3</sup> )
Discarica NP - area di coltivazione	<b>3371</b>	944	# 1029 - 4117
Discarica NP - copertura giornaliera	<b>131</b>	37	# 131 - 240
Rifiuto triturato pronto per l'incenerimento (CSS)	<b>693</b>	194	\
Biotunnel in fine lavorazione	<b>10396</b>	2911	# <sup>1</sup> 233 – <sup>2</sup> 14254
Percolato	<b>24196</b>	6775	# 21160 - 32000
Fanghi palabili – cumulo stoccaggio, ingr. impianto	<b>23751</b>	6650	
Fanghi palabili – cumulo stoccaggio, uscita impianto	<b>14123</b>	3954	* 10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>
Fanghi palabili – cumulo movimentato, uscita impianto	<b>1810</b>	507	
Ceneri inertizzate	<b>672</b>	188	\
Vasca decantaggio fanghi	<b>2376</b>	665	* 10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>

# APAT, 2003 (1 compost maturo, 2 biossidazione organico)

\* Sironi et al., 2003

## 7.7 CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA

Il periodo temporale di simulazione adottato nel presente studio è l'anno 2014 per le simulazioni annuali e i mesi di Luglio, Agosto e Settembre 2015 per la validazione del modello. Come dati meteo necessari per la simulazione di CALMET, sono stati utilizzati in input i dati (al suolo e in quota) del modello COSMO (Il consorzio Cosmo, a cui aderisce il Servizio IdroMeteoClima di Arpa, tramite un accordo con il Servizio meteorologico dell'Aeronautica militare).

I parametri meteorologici forniti in input al modello sono:

- Direzione vento (deg)
- Velocità vento (m/s)
- Temperatura (°C)
- Umidità relativa (%)
- Precipitazione (mm)
- Copertura nuvolosa (frazione)
- Pressione atmosferica (hPa)

Dall'interpolazione di questi dati si ottengono altri parametri utili a conoscere le dinamiche dell'atmosfera riguardante l'area di studio considerata, ad esempio classi di stabilità e altezza di rimescolamento. Di seguito sono riportate alcune elaborazioni effettuate tramite Excel dai dati ottenuti da CALMET e per la Figura 7.28 dai dati ricavati dalla stazione Zorabini, facente parte della rete di monitoraggio della qualità dell'aria della provincia di Ravenna. I dati utilizzati sono orari, l'altezza a cui si riferiscono i dati è di 10 m rispetto al suolo, in analogia alle stazioni meteorologiche.

### 7.7.1 VENTO

L'intensità del vento influenza il trasporto e la diffusione degli inquinanti; elevate velocità del vento tendono a favorire la dispersione degli inquinanti immessi vicino alla superficie; la direzione del vento influenza in modo diretto la dispersione degli inquinanti.

I dati meteorologici sono stati elaborati al fine di analizzare la distribuzione delle classi di velocità del vento, come riportato in Figura 7.25. La frequenza massima riscontrata, pari a 65,7%, è associata a velocità del vento comprese tra 0,5 e 3,0 m/s, mentre le calme sono presenti nel 2,2% delle ore in un anno. Nella Figura 7.26 è rappresentata la frequenza delle classi di velocità del vento per ciascun mese; si osserva che per le calme la frequenza per ciascun mese non varia molto (minima 0,9 % a maggio, massima 3,9 % a gennaio), variazioni più marcate si riscontrano per le velocità comprese tra 0,5 - 3 m/s e 3 - 5 m/s con una differenza tra massimo e minimo rispettivamente di 22,7 e 15,7. Velocità maggiori dei 10 m/s si sono riscontrate solo nei mesi di Gennaio, Settembre e Dicembre, sono lo 0,2% delle ore in un anno.

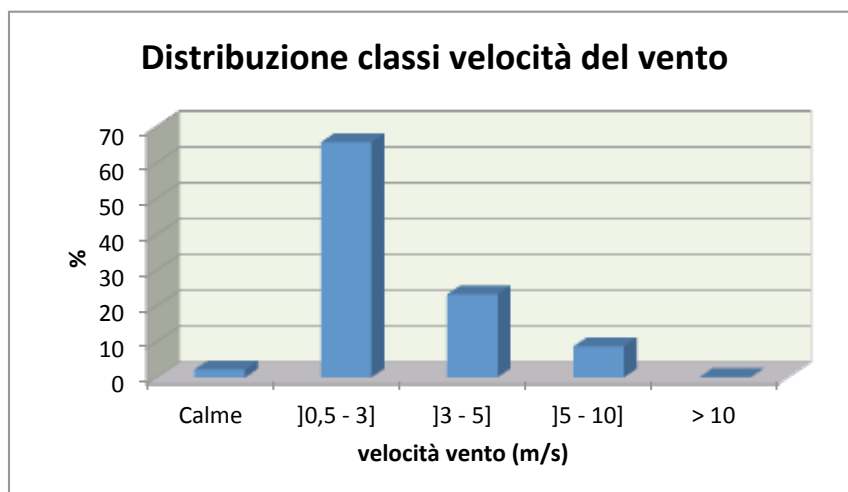


Figura 7.25: Distribuzione delle classi di velocità del vento (anno 2014).

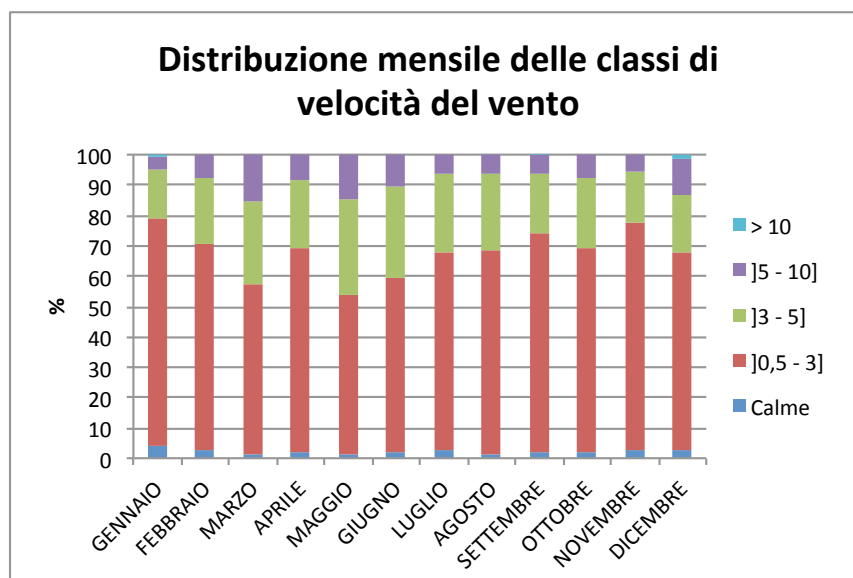
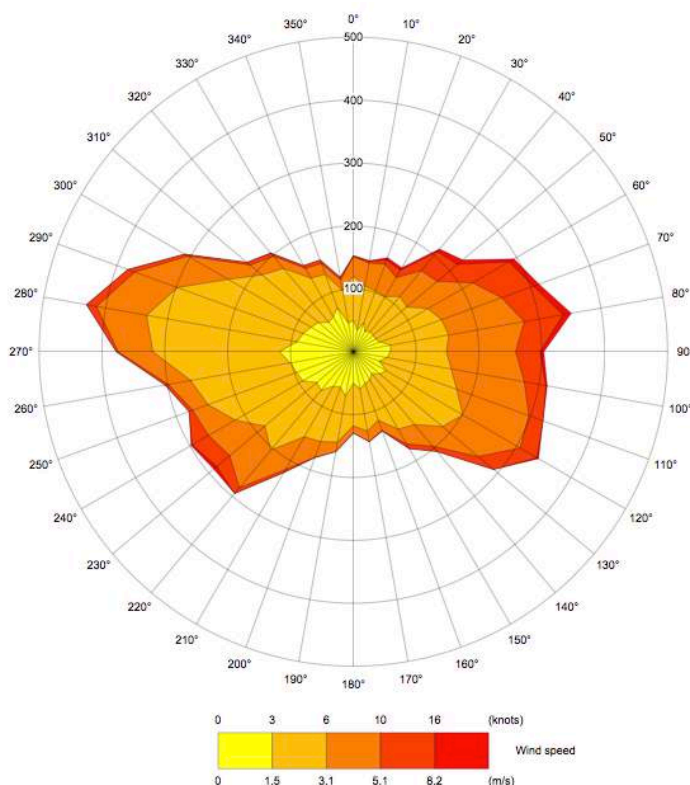


Figura 7.26: Distribuzione delle classi di velocità del vento per ciascun mese (anno 2014).

La rosa dei venti per l'anno 2014, elaborata in riferimento al dominio di simulazione, è mostrata in Figura 7.27. E' possibile osservare che la velocità del vento varia all'interno di un intervallo che va da 0,1 a 13,7 m/s, presentando una media di circa 2,7 m/s ed una deviazione standard pari a 1,6. Dalla rosa dei venti si possono riconoscere le direzioni O (10%) e da ENE a ESE (8%), come quelle del vento prevalente. Inoltre in tutte le direzioni, i venti sono distribuiti lungo tutto lo spettro di velocità riscontrato; con una frequenza di 49,7% la velocità predominante è compresa tra 1,6 e 3,3 m/s. Le velocità maggiori di 10 m/s si riscontrano in un intervallo tra i 18° e i 67°.

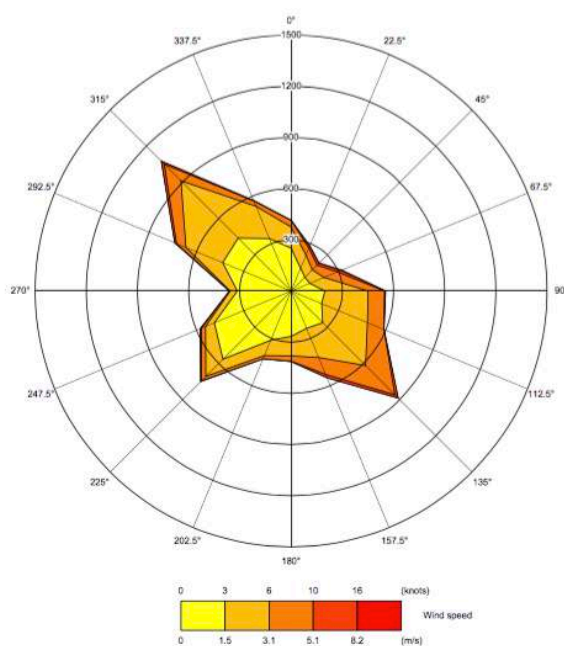


**Figura 7.27: Rosa dei venti relativa al dominio di simulazione con indicazione della velocità dei venti (anno 2014).**

La rosa dei venti per l'anno 2014, elaborata in riferimento alla Stazione Zorabini situata a meno di 4km a Nord del comparto, è mostrata in Figura 7.28. E' possibile osservare che la velocità del vento varia all'interno di un intervallo che va da 0,0 a 9,8 m/s, presentando una media di circa 1,8 m/s ed una deviazione standard pari a 1,3. Dalla rosa dei venti si può riconoscere la direzione NO (12%), come quella del vento prevalente; anche per la direzione SE (10%) e SO (9%) si registra una alta frequenza della direzione indicata. Inoltre, in tutte le direzioni, i venti sono distribuiti lungo tutto lo spettro di velocità riscontrato, con una frequenza di 50,5% la velocità predominante è compresa tra 0,3 e 1,5 m/s.

La diversa forma tra la rosa dei venti ottenuta da CALMET e quella ottenuta dalla stazione Zorabini dipende dal fatto che la prima tiene conto di diverse stazioni meteorologiche e di tutta l'area presa come dominio di simulazione (360 km<sup>2</sup>), mentre la seconda tiene conto di un singolo

punto geografico.

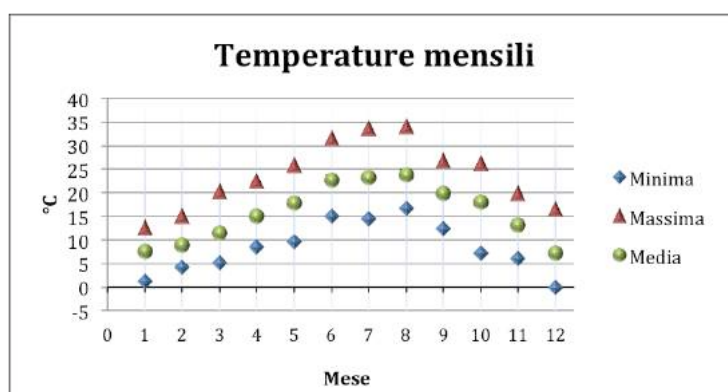


**Figura 7.28: Rosa dei venti relativa alla stazione meteorologica Zorabini con indicazione della velocità dei venti (anno 2014).**

## 7.7.2 TEMPERATURA

Basse temperature, durante il periodo invernale, sono spesso in relazione a condizioni di inversione termica che tendono a confinare gli inquinanti in prossimità della superficie e quindi a fare aumentare le concentrazioni misurate. La Figura 7.29 rappresenta l'andamento mensile delle temperature massime minime e medie.

Dall'analisi dei dati orari emerge che nell'arco del periodo temporale considerato il valore minimo è di  $-0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (misurato il 31/12/2014 alle ore 20:00), con una variazione giornaliera di  $16,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; il valore massimo è di  $33,95\text{ }^{\circ}\text{C}$  (misurato l'11/08/2014 alle ore 13:00), con una variazione giornaliera di  $17,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Si osserva che le medie dei mesi più freddi (Gennaio, Febbraio, Dicembre) sono sostanzialmente più alte rispetto agli anni passati e all'anno in corso; questo è dato dalle minime piuttosto elevate rispetto ai valori di solito riscontrati; le massime, infatti, non variano sostanzialmente.

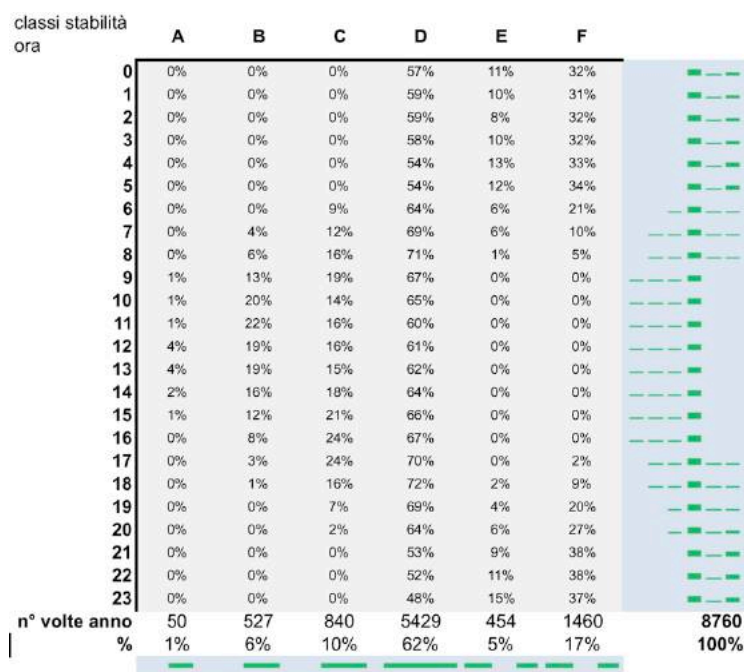


**Figura 7.29: Andamento delle temperature massime, minime e medie mensili (anno 2014).**



### 7.7.3 CLASSI DI STABILITÀ

Il comportamento di un effluente e le eventuali ricadute al suolo degli inquinanti variano sensibilmente a seconda che l'atmosfera si trovi nelle così dette condizioni di stabilità instabili, neutre o stabili. Inoltre, anche la quota del punto di inversione termica influenza fortemente le dinamiche di abbattimento al suolo degli inquinanti, a seconda che essi vengano emessi al di sopra o al di sotto di tale quota. Le classi di stabilità atmosferica (o classi di Pasquill) sono indici della turbolenza dell'atmosfera e, quindi, del grado di dispersione degli inquinanti. Le classi di stabilità, secondo la classificazione di Pasquill-Gifford, sono 6 (+ 1) come descritte in Tabella 5.1. Le classi di stabilità sono generalmente elaborate attraverso opportuni algoritmi di calcolo sulla base dell'intensità del vento, della radiazione solare e della copertura nuvolosa. In **Figura 7.30** viene indicato il numero di volte e la relativa percentuale, elaborate dal processore meteorologico CALMET, in cui ciascuna classe è stata riscontrata in ciascun ora del giorno nell'intero anno 2014. Si osserva che all'interno del dominio indagato le classi di stabilità sono caratterizzate da una distribuzione in termini di frequenza, tale per cui il valore percentuale maggiorie si riscontra nel caso di situazione neutra (62%). Il grafico *sparkline* riportato nell'ultima colonna a destra da una visione di come ciascuna classe di stabilità sia presente/assente e l'intensità durante ciascuna ora del giorno, mentre il grafico *sparkline* della riga inferiore mostra la frequenza nell'arco della giornata; nella Figura 7.31 è rappresentato con maggior chiarezza questo andamento.



**Figura 7.30: Distribuzione delle classi di stabilità atmosferiche (anno 2014).**

La Figura 7.31, mostra la distribuzione oraria delle classi di stabilità, elaborate dal processore meteorologico CALMET. Si osserva che le classi instabili (A, B, C) sono presenti solo durante le

ore diurne, quando è presente la radiazione solare, mentre le classi stabili (E, F) sono presenti solo nelle ore notturne. La classe neutra D, che ha solo origine meccanica (è, infatti, prodotta dall'effetto convettivo prevalente del vento) è invece presente in tutte le ore del giorno.

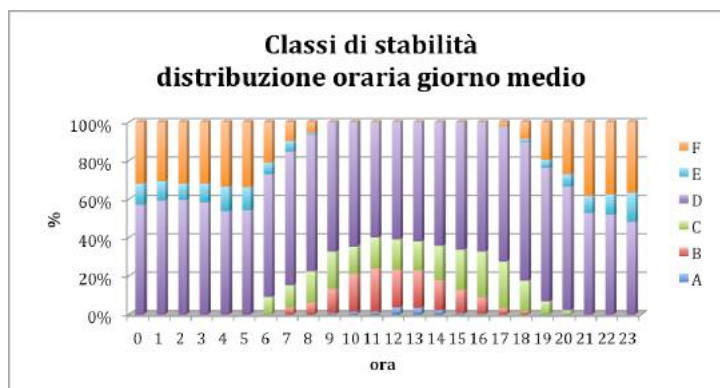


Figura 7.31: Distribuzione oraria delle classi di stabilità (anno 2014).

#### 7.7.4 ALTEZZA DI RIMESCOLAMENTO

In Figura 7.32 sono riportate le altezze di rimescolamento medie mensili elaborate dal processore meteorologico CALMET, all'interno del dominio di simulazione; le altezze medie mensili sono più elevate nei mesi primaverili ed estivi. L'altezza di rimescolamento dipende dalla posizione, dal periodo dell'anno e dall'ora della giornata. Come mostra la Figura 7.33, 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, le altezze di rimescolamento massime si hanno in estate, in concomitanza con la maggior frequenza di situazioni instabili; quelle minime in inverno.

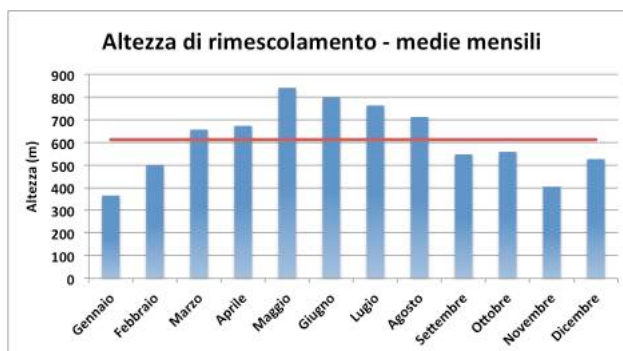


Figura 7.32: Altezza dello strato di rimescolamento – medie mensili 2014.

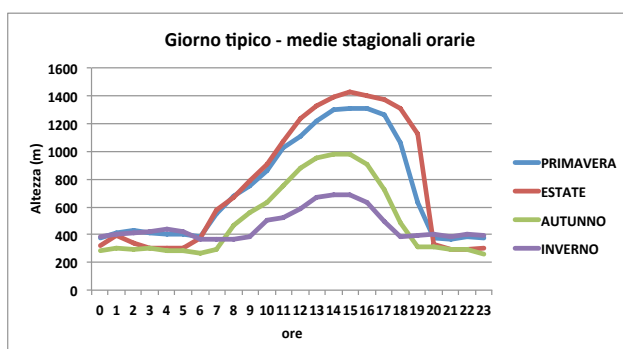


Figura 7.33: Altezza dello strato di rimescolamento – medie stagionali orarie 2014.

## 7.8 DOMINIO DI SIMULAZIONE

L'area assunta come dominio spaziale della simulazione è pari a un rettangolo di lato 20 km lungo l'asse latitudinale e 18 km lungo quello longitudinale, all'interno del quale sono stati individuati i potenziali recettori presenti (Figura 7.34), sulla base dei seguenti criteri:

1. ad una distanza compresa **tra 0 e 2 km** dall'impianto, sono stati rilevati tutti i potenziali recettori presenti costituiti da edifici isolati o da 2-4 edifici adiacenti;
2. ad una distanza **oltre i 2 km** dall'impianto sono stati rilevati i seguenti agglomerati: San Romualdo, Ravenna Periferia, Zona Industriale Via Edison, Zona Industriale Bassette (una piccola parte rientra entro i 2 Km), Zona Industriale San Vitale, Zona Industriale Piallassa, Sant'Antonio, Zona Industriale Trattaroli, Torri, Marina Di Ravenna, Porto Corsini, Savarna, Marina Romea, Cruser, Sant'Alberto, Mandriole, Casalborsetti.

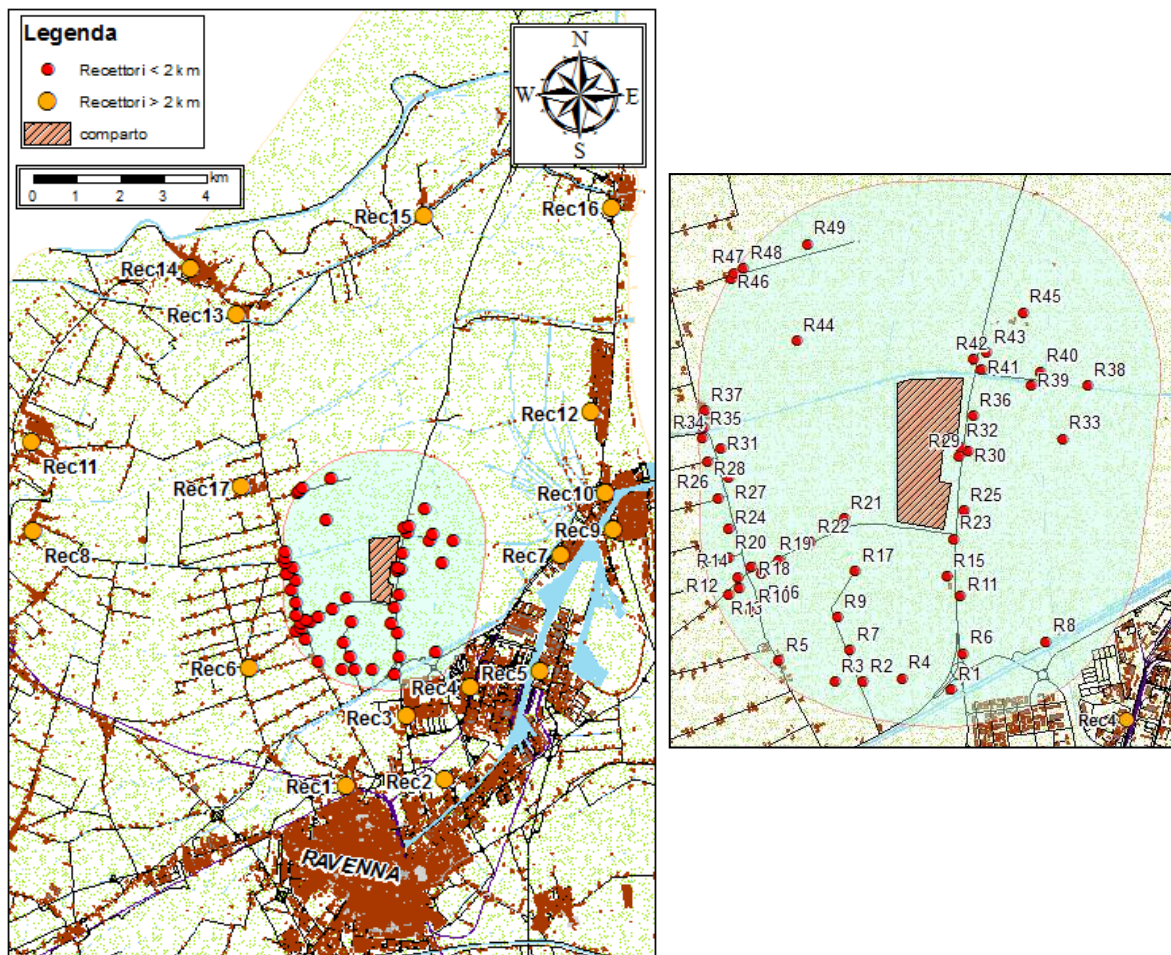


Figura 7.34: Localizzazione di tutti i recettori individuati nell'area di studio (sx) e zoom per i recettori entro i 2 km (dx).

I 66 recettori individuati non coincidono necessariamente con i punti della griglia. Le loro coordinate WGS84 UTM 32N e la distanza rispetto ad un punto interno al comparto vengono riepilogate in Tabella 7.12. La griglia di calcolo, rappresentata in Figura 7.35, è costituita da un rettangolo di dimensioni 20x18 km: il comparto è volutamente decentrato rispetto al centro della

griglia al fine di esaminare con maggior dettaglio i potenziali impatti a lunga distanza lungo la direzione preferenziale di diffusione delle sostanze odorigene. Il passo è di 200 m, con 100 celle lungo la longitudine e 90 lungo la latitudine (complessivamente costituita da 9000 punti di calcolo). L'origine del dominio, di coordinate WGS84 UTM 32N X=745,720 km e Y=4922,900 km, è rappresentata dall'angolo SO dello stesso. Per quanto riguarda l'orografia, poiché il territorio esaminato risulta sostanzialmente pianeggiante, ai fini della simulazione è stato considerato un terreno piatto. Nel calcolo effettuato, i punti griglia sono a 1,5 m dal suolo, così come la quota dei recettori, individuata come l'altezza media alla quale le persone percepiscono l'odore.

**Tabella 7.12: Coordinate, distanza da un punto interno al comparto (X UTM32 (km): 754,945, Y UTM32 (km): 4929,873) e tipologia di recettore, Rec: recettori > 2km, R: ≤2 km.**

NAME	X UTM32 (m)	Y UTM32 (m)	DESCRIZIONE	DISTANZA DAL COMPARTO (m) *
Rec1	754192	4925125	Ravenna periferia	4808
Rec2	756496	4925266	Z.I. via edison	4862
Rec3	755583	4926727	Z.I. bassette (una piccola parte rientra entro i 2 km)	3211
Rec4	757071	4927406	Z.I. san vitale	3257
Rec5	758685	4927757	Z.I. piallassa	4297
Rec6	751986	4927848	Sant'antonio	3586
Rec7	759166	4930447	Z.I. trattaroli	4260
Rec8	746971	4930980	Torri	8051
Rec9	760373	4931040	Marina di Ravenna	5552
Rec10	760199	4931878	Porto Corsini	5623
Rec11	746947	4933049	Savarna	8605
Rec12	759858	4933731	Marina Romea	6246
Rec13	751671	4935981	Cruser	6930
Rec14	750618	4937057	Sant'alberto	8386
Rec15	756007	4938247	Mandriole	8440
Rec16	760315	4938446	Casal Borsetti	10115
Rec17	752015	4931855	San Romualdo	3797
R1	755203	4927508	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	2195
R2	754314	4927587	Abitazione in genere + servizio garage	2159
R3	754028	4927587	Abitazione in genere	2248
R4	754707	4927620	Servizio – garage	2062
R5	753464	4927801	Complesso con un diverso n° di abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere. Tra cui c'è anche ANT2	2337
R6	755324	4927878	Abitazione in genere + servizio garage	1857
R7	754180	4927909	NTI nuove tecnologie industriali	1893

R8	756163	4927997	Abitazione in genere + servizio garage	2126
R9	754054	4928240	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	1646
R10	753182	4928295	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	2172
R11	755301	4928460	Edificio a destinazione residenziale-agricola abitato	1294
R12	752947	4928475	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	2258
R13	753084	4928528	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	2127
R14	753047	4928649	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	2083
R15	755159	4928654	Res reliable environmental solutions società cooperativa	1065
R16	753288	4928691	Fabbrica in genere	1860
R17	754236	4928704	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	1154
R18	753183	4928753	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	1913
R19	753464	4928822	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	1635
R20	752948	4928839	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	2086
R21	754123	4928998	Abitazione in genere + pensilina o tettoia + fabbrica in genere	857
R22	753782	4928998	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	1272
R23	755229	4929032	Edificio a destinazione residenziale-agricola abitato	743
R24	752947	4929132	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	1988
R25	755329	4929317	Edificio a destinazione residenziale-agricola abitato	592
R26	752841	4929446	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	2031
R27	752952	4929650	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	1907
R28	752742	4929811	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	2121
R29	755278	4929867	Edificio a destinazione residenziale-agricola abitato	461
R30	755372	4929918	Edificio a destinazione residenziale-agricola abitato	568
R31	752868	4929943	Abitazione in genere + servizio garage	2008
R32	755288	4929963	Edificio a destinazione residenziale-agricola abitato	516
R33	756329	4930042	Abitazione in genere	1515
R34	752691	4930054	Abitazione in genere + servizio garage	2200
R35	752730	4930149	Abitazione in genere + servizio garage + bar Ca Bosco	2210
R36	755421	4930280	Edificio a destinazione residenziale-agricola abitato	825
R37	752706	4930329	Abitazione in genere + servizio garage	2249

R38	756583	4930580	Abitazione in genere + servizio garage	1947
R39	756015	4930583	Edificio a destinazione residenziale-agricola abitato	1470
R40	756106	4930723	Impianto sportivo	1628
R41	755503	4930741	Quelli del ponte associazione storica medioevale	1245
R42	755432	4930852	Edificio abbandonato e inagibile	1308
R43	755566	4930915	Servizio – garage	1427
R44	753642	4931036	Fabbrica in genere	1825
R45	755927	4931320	Azienda	1961
R46	752979	4931663	Abitazione in genere + servizio garage + fabbrica in genere	2735
R47	753009	4931724	Abitazione in genere + servizio garage	2760
R48	753103	4931765	Abitazione in genere + servizio garage	2729
R49	753749	4932013	Servizio – garage	2587

\* Tutti i recettori sono stati identificati tramite *shape file* identificante gli edifici e la loro destinazione d'uso e/o osservazioni satellitari e buffer per discriminare tra R e Rec; in seguito sono state calcolate da un punto interno al comparto le distanze dei recettori, quindi la loro distanza dai confini del comparto è minore, in particolare per i R non essendo agglomerati ma singoli edifici (distanza tra centro e confine N: 975 m, distanza tra centro e confine S: 500 m, distanza tra centro e confine E: 350 m, distanza tra centro e confine O: 200 m).

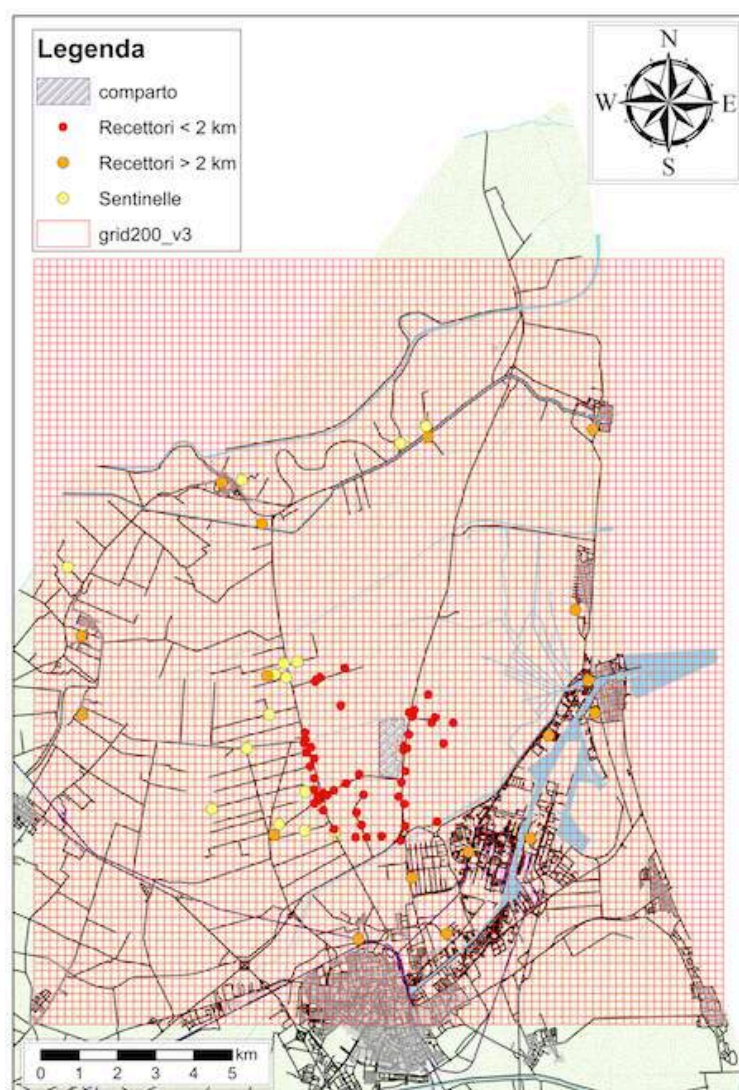


Figura 7.35: Rappresentazione della griglia di calcolo, maglia di 200x200m.

## 7.9 FATTORI DI EMISSIONE

Le emissioni dai pozzi del biogas sono state ricomprese in quelle dello stato di messa in sicurezza, la cui caratterizzazione odorimetrica - determinata nel piano di monitoraggio dell'azienda - è compresa fra 100 - 230 OU/m<sup>3</sup>.

**Tabella 7.13: Concentrazione di odore fornite dall'azienda.**

SORGENTE	OU/m <sup>3</sup>	DATI BIBLIOGRAFICI (OU/m <sup>3</sup> )
Sottostazioni di aspirazione	190	# 160 – 117509
Pozzi di captazione biogas	200	
Discarica NP – messa in sicurezza	100 - 230	# 202 – 370

# APAT, 2003.

In relazione alla sorgente percolato, rappresentata dalle stazioni di rilancio e vasche di accumulo, si ricorda che sono normalmente chiuse e aperte solo in occasione di operazioni di manutenzione che peraltro avvengono con frequenza limitata.

Si sono ritenuti trascurabili i settori dotati di copertura definitiva rispondente ai requisiti previsti dal D. Lgs. 36/03, in grado di isolare i rifiuti dall'ambiente esterno, minimizzare le infiltrazioni d'acqua, resistere agli assestamenti ed a fenomeni di subsidenza localizzata.

La portata di odore (OER) ed il flusso specifico di odore (SOER) dipendono dalla velocità dell'aria che lambisce la superficie; utilizzando una bombola di aria neutra, collegata ad un flussimetro, collegato alla wind tunnel, conosciamo il flusso che attraversa la cappa così da poter determinare la portata ed il flusso di odore. Di seguito si riporta il SOER e l'OER delle sorgenti considerate ai fini della simulazione modellistica.

**Tabella 7.14: SOER (relativo alla sorgente campionata) e OER (considerando l'area totale delle sorgenti).**

SORGENTE	SOER (OU/(m <sup>2</sup> s))	OER (OU/s)	AREA EMISSIVA TOTALE SORGENTE (m <sup>2</sup> )
Discarica NP - area di coltivazione	18,73	18728	1000
Discarica NP - copertura giornaliera	0,73	728	1000
Rifiuto triturato pronto per l'incenerimento (CSS) + impianto CSS	3,85	2051 + 3558	533 + 924
Biotunnel in fine lavorazione	57,76	16539	286
Percolato pozzetti	\	457	54 (1x54)
V-7°e8°	\	8,47	1
V-1200, V-360, V-100	\	33,87	12 (4x3)
Fanghi palabili – cumulo stoccaggio, ingr. impianto	133,01	103744	780
Fanghi palabili – cumulo stoccaggio, uscita impianto (area nord + area sud)	79,09	143942	1820

Fanghi palabili – cumulo movimentato, uscita impianto	10,14	2635	260
Ceneri inertizzate	3,76	103	28
Vasca decantaggio fanghi	13,31	10644	800
Discarica NP – messa in sicurezza + pozzi captazione biogas	0,56	57013	153478

In **Figura 7.36** è mostrata l'area relativa alla superficie emissiva ed il corrispondente SOER mentre in **Figura 7.37** l'area relativa alla superficie emissiva ed il corrispondente OER (non sono stati riportati i pozzetti e le vasche di percolato).



**Figura 7.36: SOER rapportato alla superficie emissiva.**



**Figura 7.37: OER rapportato alla superficie emissiva.**

La caratterizzazione delle sorgenti odorogene è stata effettuata con livelli di temperatura piuttosto consistenti (mediamente una temperatura di circa 30°C), che ha senza dubbio favorito l'emissione di sostanze odorogene. Pertanto, i flussi specifici di odore assunti nelle simulazioni modellistiche sull'intero dominio temporale (8760 ore/anno) possono ritenersi cautelativi. Si evidenzia, infatti, che nel corso dell'anno 2014 (anno di riferimento per le simulazioni) i valori di temperatura oraria superiore a 30°C sono stati 67 su 8760 (0.8%).



È presumibile pertanto che i flussi emissivi assunti nelle simulazioni siano superiori ai reali, per la maggior parte delle ore simulate.

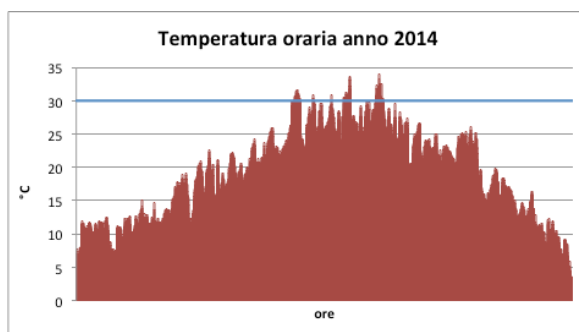


Figura 7.38: Valori temperatura oraria (anno 2014).

### 7.10 CONSIDERAZIONI SU ALCUNE SORGENTI

Per caratterizzare al meglio alcuni tipi di sorgente (“portelloni” e “cumuli di rifiuti”) sono state fatte alcune assunzioni.

Per quanto riguarda la sorgente magazzino, costituita da una superficie emissiva verticale, data dal portellone ogni qual volta questo viene aperto, abbiamo considerato come superficie emissiva l’area del portellone.

Per quanto riguarda i cumuli di stoccaggio di rifiuti (DISIDRAT; IRE e produzione CSS), essendo stoccati in capannoni chiusi su 2 o 3 lati, per poter stimare la superficie emissiva abbiamo approssimato questi cumuli a dei parallelepipedi con una altezza pari all’altezza dei cumuli e calcolato l’area della superficie in base al volume del materiale che viene stoccato così come dichiarato dall’azienda. Infine è stato considerato che solo 2 o 3 facce di questo parallelepipedo, in base all’ubicazione del cumulo come visto dal sopralluogo, emettono sostanze odorigene; in questo modo è stata calcolata l’area effettivamente emissiva, minore rispetto ad un cumulo posto ad esempio su un piazzale.

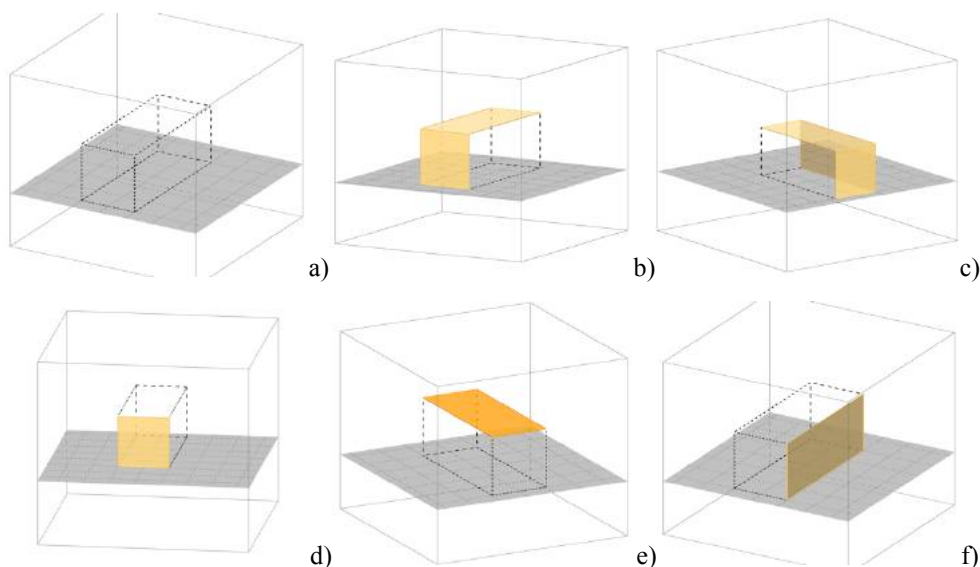


Figura 7.39: Nella figura a) approssimazione del cumulo b) e c) superfici totali considerate dei cumuli d), e) e f) area considerata come sorgente nell’input del modello.

Per sorgenti passive areali la portata di odore (OER) ed il flusso specifico di odore (SOER) dipendono dalla velocità dell'aria che lambisce la superficie. Conseguentemente, è opportuno che nelle simulazioni di dispersione si tenga conto della variazione della portata di odore (o in modo equivalente del flusso specifico di odore) in funzione della velocità del vento, secondo l'equazione riportata indicata dalle Linee Guida della Lombardia.

$$OER_S = OER_R \times \left( \frac{V_S}{V_R} \right)^{0,5}$$

$OER_S$  = portata di odore alla velocità dell'aria  $V_S$

$OER_R$  = portata di odore alla velocità di riferimento  $V_R$  (conosciuta durante il campionamento)

$V_S$  = velocità dell'aria vicino alla superficie emissiva; tale velocità può essere calcolata dalla velocità del vento alla quota dell'anemometro, ricorrendo alle equazioni di potenza che ipotizzano un determinato profilo di velocità del vento.

$V_R$  = velocità dell'aria nella camera di ventilazione durante il campionamento

Per quanto riguarda  $V_S$ , è stata utilizzata la velocità oraria all'altezza di 10 m, considerata costante lungo il profilo verticale per tutte le sorgenti, comprese le superfici della discarica, poste a 18 m di altezza dal livello del suolo. Assunzione coerente considerando che per velocità del vento a 10 m di 2,5 m/s (media annuale 2014) e per rugosità di 0,25 (tipica di aree rurali), le velocità del vento fra 10 e 20 m hanno variazioni che sono minori del 20%.

Nelle simulazioni modellistiche sono stati considerati, per i cumuli di stoccaggio, 2 possibili casi:

1. emissioni dipendenti dalla variazione della portata di odore in funzione della velocità del vento (formula vista sopra) tenendo conto di quanto abbiamo assunto per  $V_S$  (**Simulazione 1**)
2. emissioni indipendenti dalla variazione della portata di odore in funzione della velocità del vento, assumendo che le paratie laterali e la tettoia mitigano l'effetto del vento al 100%.

$$OER_S = OER_R \text{ (**Simulazione 2**)}$$

Questi sono i 2 casi "limite", Simulazione 1 in cui le paratie laterali e tettoie non mitigano in nessun modo l'effetto del vento sulle emissioni, mentre nella Simulazione 2 l'effetto del vento è completamente mitigato. Nella realtà l'effetto del vento sarà solo parzialmente attenuato: quando il vento lambisce il lato "scoperto" del cumulo questo risentirà del suo effetto. Con i dati in nostro possesso non è stato possibile definire l'entità di questo effetto del vento che comunque sarà compreso tra i 2 casi limite ma con uno scenario più vicino a quello che sarà previsto dalla simulazione 2.

In ALLEGATO 2 sono indicate le sorgenti e le relative caratteristiche utilizzate in input nel modello.

### 7.11 MODULAZIONI TEMPORALI DELLE EMISSIONI

Come detto in precedenza, alcune sorgenti non emettono 24 ore su 24, ma solo per un periodo limitato durante la giornata. Si è assunto che il “magazzino” venga aperto per 1 ora al giorno, dalle ore 11:00 alle ore 12:00, mentre il biotunnel rimanga scoperto durante la giornata lavorativa, dalle ore 8:00 alle ore 18:00 comprese.

Altre sorgenti oltre ad essere emissive in un determinato momento della giornata, presentano un’emissione solo in determinate occasioni, come nel caso dei pozzetti di percolato e delle vasche di stoccaggio e rilancio dello stesso, che vengono aperte solo durante gli interventi di manutenzione e pulizia. Non avendo a disposizione un registro delle manutenzioni e svuotamento dei pozzetti di percolato, ma solo delle frequenze annue, per quanto riguarda le aperture sono state fatte delle assunzioni arbitrarie a partire dalle informazioni in nostro possesso, riassunte in **Tabella 7.15**. Nelle simulazioni l’intervallo di emissione di una sorgente è oraria, pertanto l’emissione di odore stimata per i pozzetti e le vasche del percolato, che vengono aperte per periodi continuativi inferiori all’ora, è cautelativa.

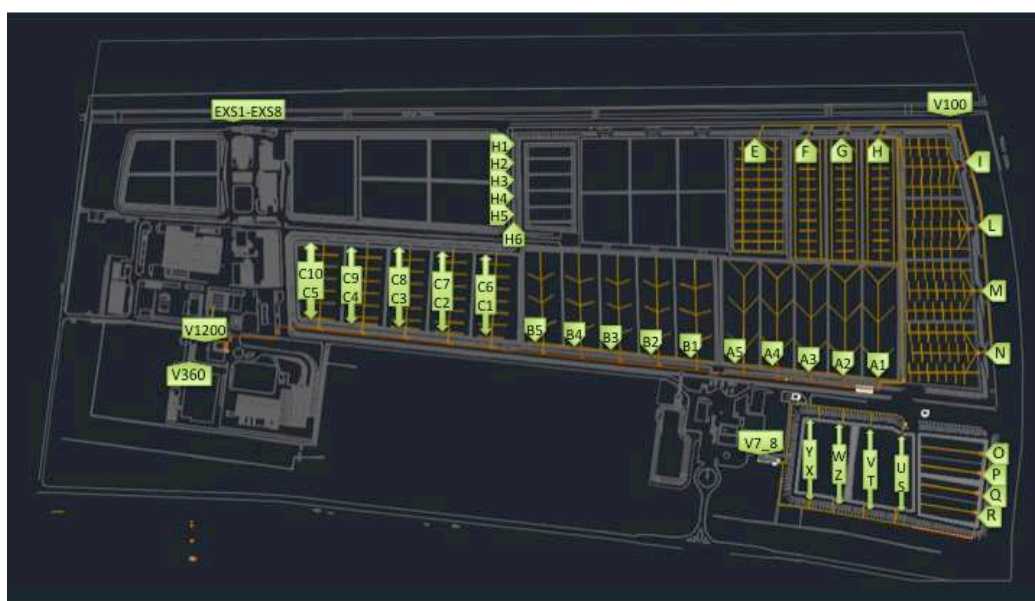


Figura 7.40: Localizzazione delle vasche e dei pozzetti di percolato.

Tabella 7.15: Localizzazione dei pozzetti e/o silos di stoccaggio e di rilancio percolato presenti all’interno del comparto che vengono saltuariamente aperti e tempistiche degli interventi.

ID	Punti	Durata intervento	Frequenza pulizia drenaggio
1° settore	A1 - A2 - A3 - A4 - A5	40 minuti per punto	Trimestrale
2° settore	B1 - B2 - B3 - B4 - B5	80 minuti per punto	Trimestrale

3° settore	C1 - C2 - C3 - C4 - C5 - C6 - C7 - C8 - C9 - C10	20 minuti per punto	Trimestrale
4° settore	E - F - G - H	20 minuti per punto	Mensile
5° settore	I - L	20 minuti per punto	Mensile
6° settore	M - N	20 minuti per punto	Mensile
7° settore	O - P - Q - R	20 minuti per punto	Mensile
8° settore	S - T - U - V - Z - X - Y - W	20 minuti per punto	Mensile
2C	H1 - H2 - H3 - H4 - H5 - H6	20 minuti per punto	Trimestrale
* EXS	EXS1 - EXS2 - EXS3 - EXS4 - EXS5 - EXS6 - EXS7 - EXS8	20 minuti per punto	Trimestrale
V-1200	\	40 minuti per punto	Annuale / semestrale
V-100	\	80 minuti per punto	Annuale / semestrale
V-7°e8°	\	20 minuti per punto	Annuale / semestrale
V-360	\	20 minuti per punto	Annuale

\* Non avendo avuto informazioni riguardo alla durata e alla frequenza degli interventi è stato assunto il caso più cautelativo tra quelli già presenti.

## **7.12 LE SENTINELLE DELL'ODORE**

Ricordiamo che l'impatto olfattivo delle emissioni di un impianto costituisce un problema ambientale nella misura in cui l'odore presente nell'aria ambiente sul territorio è percepito come disturbo dalla popolazione residente. Fra i diversi metodi disponibili per rilevare le percezioni di disturbo olfattivo sul territorio e rappresentarle in forma oggettiva e documentabile, le Linee Guida della Lombardia propongono il “Monitoraggio sistematico del disturbo olfattivo tramite rilevazione delle segnalazioni di percezione di odore da parte della popolazione residente”. Questo metodo è stato frequentemente usato nel nostro Paese, benché non esista ancora una dettagliata Linea Guida. L'eterogeneità delle procedure seguite nei diversi casi applicativi del passato ha purtroppo influito negativamente sulla rappresentatività dei risultati ottenuti, i quali hanno permesso, il più delle volte, di trarre solo delle suggestioni sommarie e soggettive. Gli autori delle linee guida, al contrario, ritengono che tale metodo abbia un grande potenziale conoscitivo e allo stesso tempo possa essere applicato in modo semplice ed economico.

In data 25 giugno 2015 ARPA – Sezione di Ravenna ha organizzato, con il supporto di consigli territoriali, un'assemblea pubblica per informare i cittadini residenti nel raggio di 5 km dal comparto sullo studio inerente le emissioni odorigene che sarebbe stato condotto al fine di reclutare le così dette “Sentinelle dell'odore”. Lo scopo dell'assemblea pubblica è stato duplice: da un lato è servito a trasmettere le informazioni utili affinché il monitoraggio si sia potuto

svolgere in modo ordinato ed efficace, richiedendo, per questo, la piena collaborazione della popolazione; dall'altro è servito a trasmettere alla popolazione la fiducia che le Autorità preposte si sono fatte carico della situazione di disturbo olfattivo percepita e stanno attivamente operando per conseguire il suo contenimento. Per informazioni più dettagliate si rimanda all'allegato 3 delle Linee Guida della regione Lombardia, mentre di seguito verrà spiegato brevemente il principio del metodo.

Ai cittadini che hanno aderito è stata consegnata una "Scheda di rilevazione del disturbo olfattivo", sulla quale è stato chiesto di registrare gli eventi di percezione di odore (periodo durante il quale il segnalatore ha percepito il medesimo tipo di odore in modo ininterrotto). Su ogni scheda sono indicati nome e cognome del segnalatore, anche per responsabilizzare quest'ultimo circa l'importanza del suo compito; tuttavia, sulla scheda è presente una dichiarazione che attesta che le schede non saranno diffuse senza che preventivamente sia occultato il nome del segnalatore. Per ogni evento di percezione, il segnalatore deve registrare sulla scheda: data dell'evento di percezione, ora di inizio dell'evento di percezione, ora di fine dell'evento di percezione, intensità dell'odore percepito dal segnalatore, secondo una scala di tre livelli: percepibile (simbolo +), forte (simbolo ++) e molto forte (simbolo +++), ed eventuali note che il segnalatore ritenga utili per descrivere più accuratamente l'evento di percezione; per esempio, una descrizione qualitativa del tipo di odore. In Figura 7.41 è riportato un esempio di scheda del disturbo olfattivo, fornita alle sentinelle reclutate e da loro poi restituita compilata.

**SCHEDA DI RILEVAZIONE DEL DISTURBO OLFATTIVO**

Segnalatore		Foglio n°		1
Indirizzo		Località	S. Antonio	Codice segnalatore (1)
				ANTI

Data (1)	Ora inizio	Ora fine	Intensità (2)	Note (3)	Stigla (4)
8-8-15	16:00	17:30	+	ODORE - DI - PORCICATA -	
12-8-15	16:30	17:30	+	DISCARICA	
16-8-15	20:30	21:15	+	BRUCIATO	
20-8-15	15:30	16:30	+	ODORE - DI - PORCICATA	
20-8-15	21:00	22:00	+	DISCARICA	
23-8-15	20:00	20:45	++	DISCARICA	
25-8-15	8:30	9:00	+	DAL PORTO PRIMA DI PESCE	
28-8-15	8:00	9:30	+	BRUCIATO - STERPAGLIE	
3-9-15	7:20	8:00	+	BRUCIATO - STERPAGLIE	
7-9-15	7	8:00	+	DISCARICA	
10-9-15	16:30	16:30	+	ODORE - DI - PORCICATA	
13-9-15	17:00	17:00	+	DISCARICA	
30-9-15	18:30	20:30	+++	DISCARICA	
27-9-15	17:30	18:30	++	DISCARICA	
28-9-15	9:30	10:00	++	DISCARICA	

(1) Compilazione a carico dei tecnici incaricati.  
(2) Più episodi occorsi nello stesso giorno devono essere descritti in righe diverse.  
(3) Scala di intensità convenzionale:  
+ = odore chiaramente percepibile,  
++ = odore forte,  
+++ = odore molto forte  
(4) Indicazioni sulle caratteristiche dell'odore (fumo, bruciato, legno bruciato, gomma bruciata, plastica bruciata, solventi, odore debilitante, decomposizione, etc.).  
(5) Inserire una stigla identificativa del membro della famiglia che effettua la segnalazione.

Si autorizza, ai sensi dell'art. 13 del D.Lgs 196/2003, l'acquisizione e il trattamento dei dati personali solo ed esclusivamente ai fini del monitoraggio in atto. La presentazione dei risultati conseguiti avverrà solo in forma anonima, tutelando l'identità dei segnalatori.

Firma: \_\_\_\_\_

**Figura 7.41: Scheda di rilevazione del disturbo olfattivo (sono state oscurate le parti che possono ricondurre al cittadino).**

I cittadini che hanno aderito all'iniziativa sono stati 15, ognuno identificato con un codice. Dei quindici, 7 non hanno compilato correttamente le schede (MAND1, MAND2, ROM1, ROM4, ANT4, ANT5, ANT6), mentre 8 hanno restituito schede valide (ROM2, ROM3, ROM5, ALB1, ANT1, ANT2, ANT3, SAV1). In Figura 7.42 è indicata l'ubicazione delle sentinelle.

A ciascun evento di odore rilevato nelle schede è stata associata la direzione del vento relativa al momento della percezione; la stazione meteorologica utilizzata è quella identificata come Zorabini. In Figura 7.43 sono riportate la rosa dei venti e le classi di velocità ottenute dalla stazione Zorabini per il solo periodo di riferimento delle segnalazione da parte delle sentinelle (dati dal 9 Luglio al 30 Settembre 2015). Non sempre tutti gli eventi segnalati possono essere attribuibili all'attività produttiva oggetto del monitoraggio. Può, infatti, accadere che, in particolare in aree rurali, la percezione di odore possa essere dovuta ad altre cause, come per esempio allo spandimento di fertilizzanti o ammendanti, a fosse biologiche o ad altro ancora.

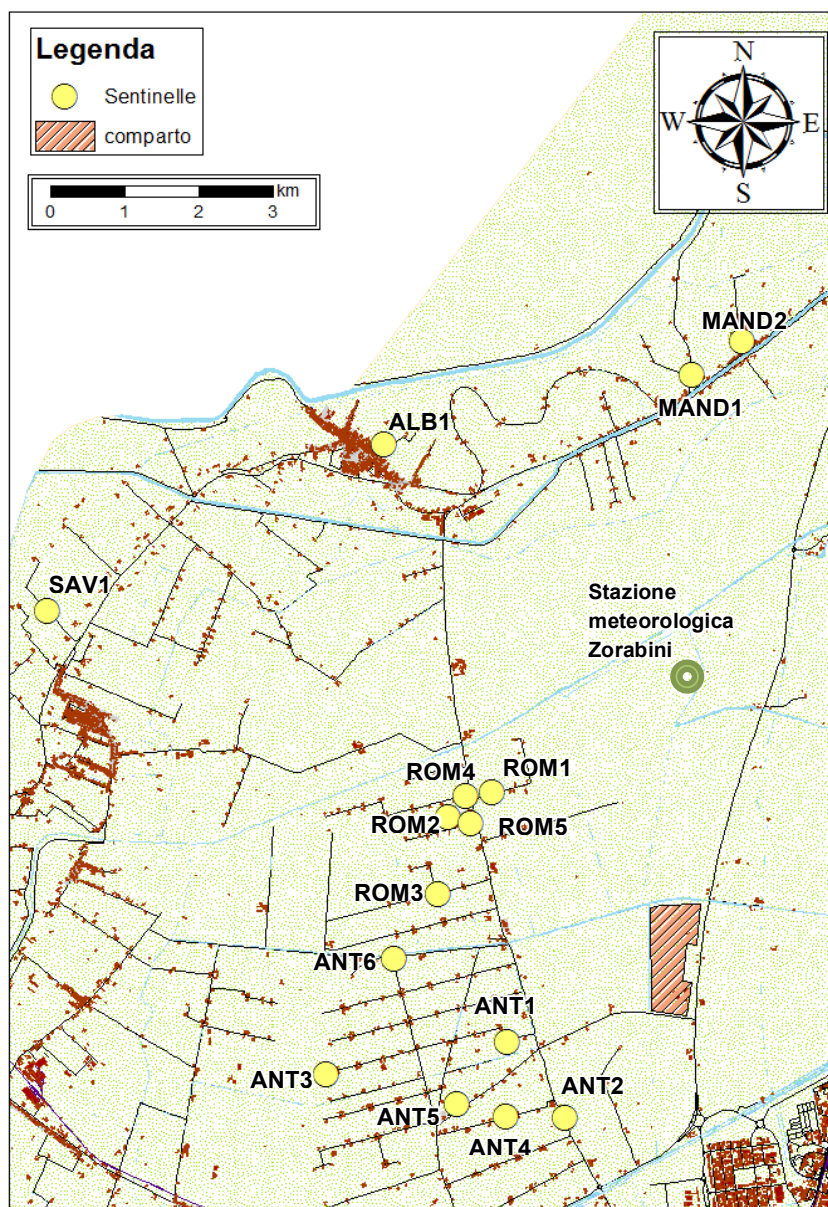
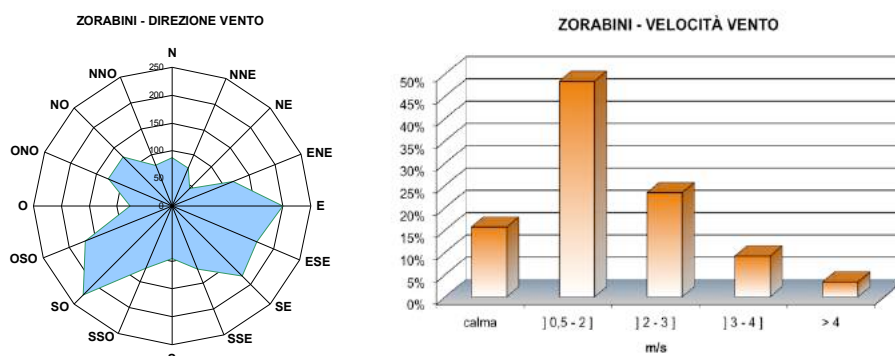


Figura 7.42: Ubicazione delle sentinelle dell'odore.



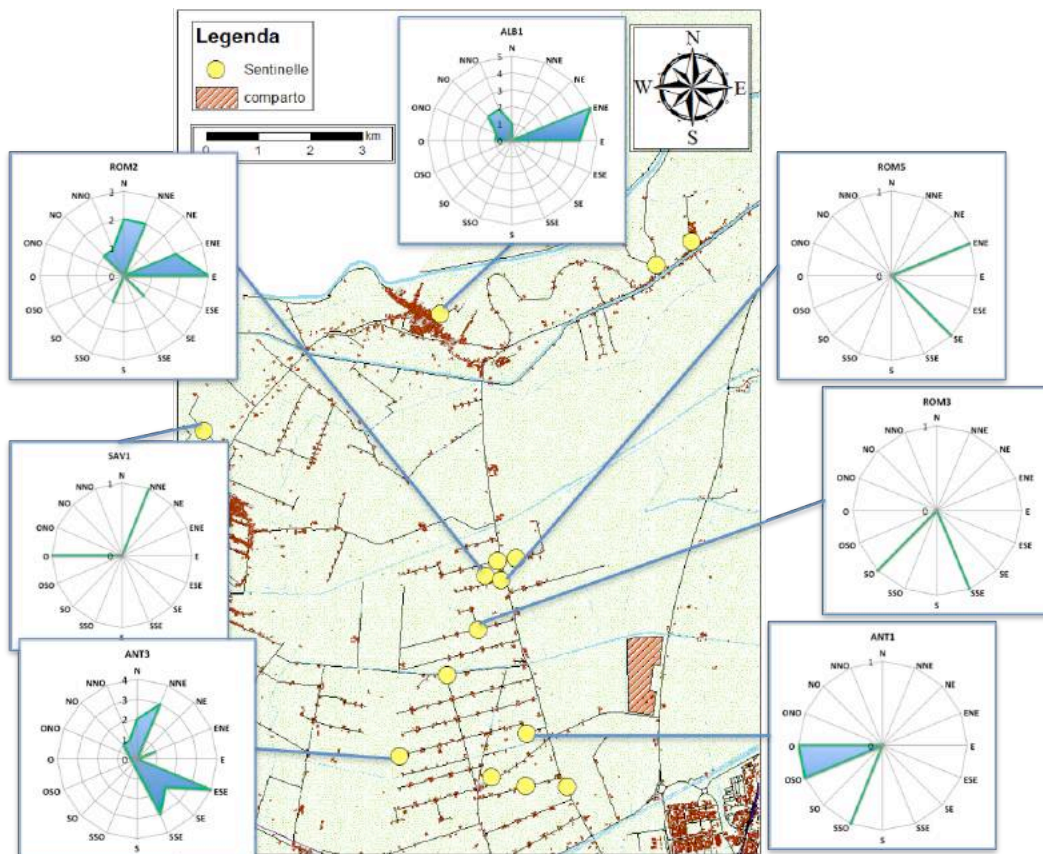
**Figura 7.43: Rosa dei venti e classi di velocità della stazione Zorabini (dati dal 9 Luglio al 30 settembre 2015).**

Durante il periodo di rilevazione degli odori da parte dei cittadini volontari si è verificata la combustione incontrollata di torbiere nell'area di Mezzano (FE) (Figura 7.44). Tale evento è stato, dal punto di vista odorigeno, molto significativo, con segnalazioni di odore da parte della popolazione fino alla città di Ravenna, che hanno interessato i mesi di Agosto e Settembre. A monte dell'elaborazione dei dati delle schede di rilevazione è stato perciò necessario escludere le segnalazioni legate a questo evento particolare e non attinente al caso studio, facilmente riconoscibili perchè identificate dalle sentinelle secondo la loro particolare caratteristica (odore di bruciato, fumo, sterpaglia ecc.).



**Figura 7.44: Focolai di torba (fonte: 'il Resto del Carlino' (SX) e 'la Nuova Ferrara' (dx)).**

Nella Figura 7.45 sono rappresentate le rose dei venti ottenute per le sole ore in cui la segnalazione era di odore di bruciato, sterpaglia e fumo, riconducibili perciò agli eventi di Mezzano; la sentinella ANT2 non ha riportato nessuna segnalazione con le caratteristiche sopra definite, perciò non è stata riportata nell'immagine seguente. La maggioranza delle segnalazioni maleodoranti riconducibili alla combustione incontrollata delle torbiere ferraresi (segnalazioni da cittadini, non solo dalle Sentinelle), sono state registrate di notte e alle prime ore del mattino. Tali segnalazioni sono coerenti con i dati meteorologici di quei giorni; caratterizzati da inversione termica nelle ore notturne, con velocità medio bassa, direzione prevalente verso la costa, ma anche con cambi di direzione durante la stessa notte. L'analisi combinata dei valori di qualità dell'aria e dei dati meteorologici ha permesso di confermare che il disagio olfattivo riscontrato su vasta parte del territorio ferrarese e ravennate è da attribuire alla combustione che dai primi giorni di Agosto fino ad Ottobre ha interessato la zona di Mezzano ([www.arpa.emr.it](http://www.arpa.emr.it) ultimo accesso: 25/10/2015).



**Figura 7.45: Rose dei venti per le sole segnalazioni degli eventi escludibili al caso studio (stazione Zorabini dati dal 9 Luglio al 30 settembre 2015).**

Una volta escluse le segnalazioni riguardanti l'evento di Mezzano, alle segnalazioni rimanenti sono state assegnate le direzioni del vento in base all'ora indicata nella scheda (Figura 7.46). Nelle figure seguenti sono riportate le direzioni di provenienza del vento durante la segnalazione di ciascuna sentinella. In Tabella 7.16 sono indicate varie tipologie di odore, come descritte dalle sentinelle. È da tenere conto che si ha compatibilità tra la segnalazione e i dati meteo quando la direzione del vento è compatibile con il trasporto delle sostanze odorigene dalla sorgente verso il segnalatore. Con venti di media-bassa intensità può essere assunto come area potenzialmente interessata dalla dispersione odorigena il settore compreso con  $\pm 30^\circ$  rispetto alla direzione del vento; con venti progressivamente più deboli l'ampiezza dell'angolo di tale settore di influenza tende sempre più ad ampliarsi. Non è possibile escludere completamente le false attribuzioni e inoltre non si può avere la certezza che tutti gli episodi di disturbo possano essere individuati, ma, da casi di studio in cui è stato fatto il confronto tra i dati emersi dall'applicazione di un modello di dispersione al suolo derivante da specifiche sorgenti e le segnalazioni da parte della popolazione residente di disturbo olfattivo percepite, è ragionevole attendersi percentuali di corrispondenza superiori al 90% (D.g.r. n. IX/3018, 2012).



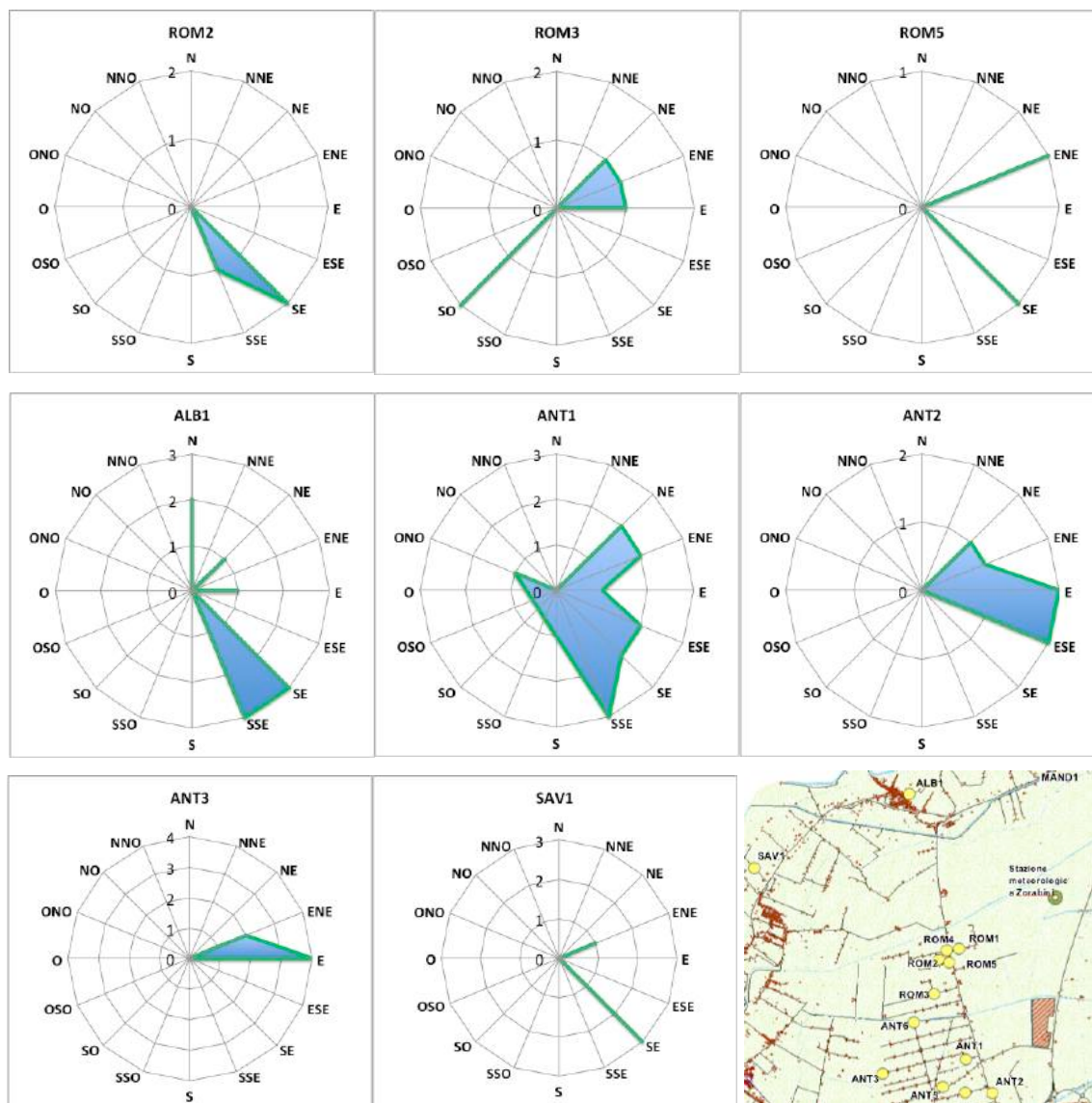


Figura 7.46: Direzioni di provenienza del vento e numero di segnalazioni durante il periodo tra Luglio e Settembre (stazione Zorabini dati dal 9 Luglio al 30 settembre 2015).

Tabella 7.16: Descrizione dell'odore percepito dalle sentinelle.

	ALB1	SAV1	ROM2	ROM5	ROM3	ANT1	ANT2	ANT3
N	Odore di letame							
NNE	Odore dolciastro							
NE	Odore di letame		Odore dolciastro			Discarica	Decomposizione	
ENE			Odore dolciastro	Odore dolciastro	Odore di porcaiaia	Rancido	Odore di porcaiaia Letame	
E	Odore acre		Odore dolciastro			Decomposizione		Odore di porcaiaia Letame
ESE						Odore di porcaiaia	Decomposizione Letame	
SE	Odore acre	Odore dolciastro	Odore dolciastro	Odore dolciastro	Farina di pesce			
SSE	Odore acre		Odore dolciastro			Discarica		
SO	Odore dolciastro							

### 7.13 ANALISI DI SENSIBILITÀ

Una delle caratteristiche che è possibile impostare come dato di input al modello è il numero di particelle rilasciate al minuto dalle sorgenti. In particolare all'aumentare del numero di particelle

rilasciate i risultati del modello tendono ad essere sempre più precisi, ma i tempi di calcolo aumentano notevolmente. È quindi opportuno effettuare, a monte delle simulazioni annuali, un test di sensibilità al fine di trovare la combinazione ottimale fra tempi di calcolo e bontà del risultato, in particolare quando il numero di sorgenti è significativo, come nel caso in studio.

L'analisi di sensibilità è stata condotta confrontando i risultati ottenuti per un mese di simulazione impostando quattro diverse condizioni di rilascio delle particelle:

- 10 particelle al minuto (impostata in LAPMOD come default);
- 20 particelle al minuto;
- 30 particelle al minuto;
- 60 particelle al minuto.

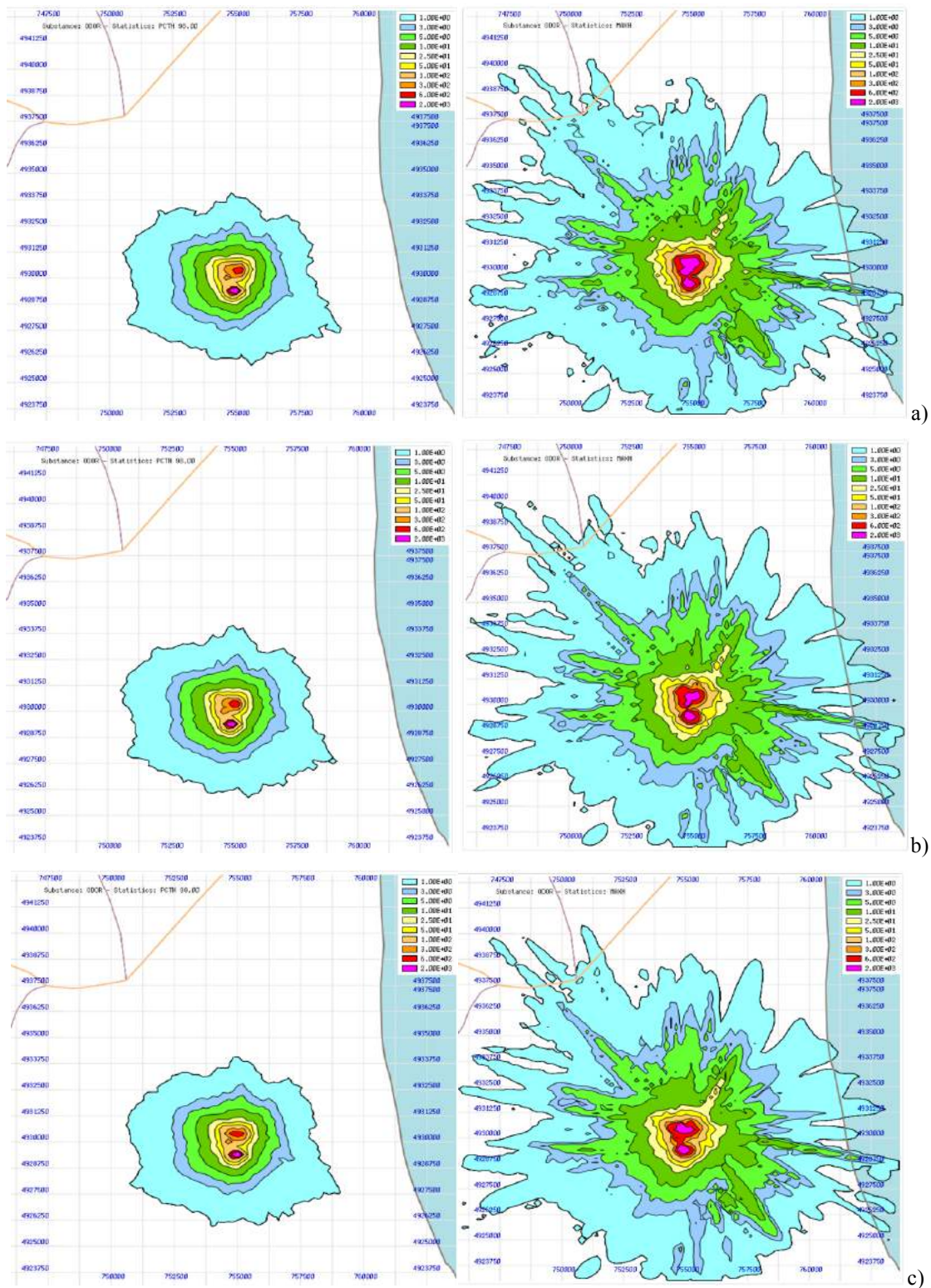
La simulazione con 60 particelle rilasciate al minuto (n° massimo) ha causato un errore, il software ha superato il numero massimo di particelle consentite all'interno del dominio di calcolo, corrispondente a 300000 particelle (Figura 7.47). Questa impostazione è stata perciò scartata come possibile, anche in considerazione del fatto che per le LG della Lombardia e per la Norma UNI EN: 13725 le mappe di iso-concentrazione devono essere riferite ad 1 anno. Con questo numero di particelle non sarebbe stato possibile completare la simulazione.



```
NOVER60P
Source  ngen
      21  3600
Source  ngen
      22  3600
Source  ngen
--- ERROR in GENERA ---
Too many particles contemporarily present
Maximum nr of particles: 300000
Nr of particles: 300001
LAPMOD (Version 2015-05-15)
2015-12-10 17:36:32 TZ+0100
-----
WARNING messages written to log file!
See them now.
-----
Error. View log file.
```

**Figura 7.47: Messaggio di errore causato dal superamento del numero di particelle all'interno del dominio di calcolo.**

Di seguito sono riportate le mappe del 98° percentile e delle concentrazioni orarie di picco (Figura 7.48) simulate per numero di particelle crescente e relative al mese di agosto 2015 e alla simulazione in cui viene mitigato totalmente l'effetto del vento dalle paratie e dalle tettoia (Simulazione 2). Dalle mappe non risultano differenze significative fra le simulazioni. Variazioni poco significative si rilevano anche confrontando i risultati ai recettori (Sentinelle), si è perciò deciso di utilizzare un rilascio di 10 particelle al minuto, al fine di ridurre i tempi di calcolo e lo spazio occupato sul disco.



**Figura 7.48: Mappe del 98° percentile (sx) e dei massimi (dx), periodo di riferimento 01/08/2015 00:00 – 31/08/2015 23:00; Simulazione 2, 23 sorgenti; a: 10P, b: 20P, c: 30P.**

In allegato 3 sono riportati i parametri statistici relativi al confronto fra le simulazioni effettuate, nei quali i dati riportati (“nome sentinella”\_20P e “nome sentinella”\_30P) sono stati calcolati in rapporto a quelli ottenuti con la simulazione a 10 particelle. Perciò valori sopra di 1 indicano concentrazioni più alte stimate dal modello rispetto alle concentrazioni ottenute a 10P, viceversa valori inferiori a 1 indicano una sottostima della simulazione rispetto a quella a 10P.

I grafici sotto riportati restituiscono una sintesi dei dati in ALLEGATO 3, dai grafici sono stati esclusi i valori uguali a uno, ovvero i casi in cui le concentrazioni stimate erano uguali in tutti e 3 i casi e i valori uguali a 0 cioè dove il modello ha stimato una concentrazione nulla.

La maggior parte dei dati ricadono nell'intervallo  $1 \pm 0,5$ , in particolare le variazioni contenute entro il 50% sono rispettivamente dell'84% per la simulazione a 20P e dell'85% per quella a 30P. Il minimo (74%) lo si riscontra per ROM2\_30P mentre il massimo (100%) lo si ritrova per la sentinella SAV1 sia per 20 che 30 particelle. Se si analizzano i casi in cui le concentrazioni simulate nelle varie casistiche non differiscono di più del 20%, la percentuale dei valori compresi nell'intervallo  $1 \pm 0,2$  corrisponde al 77% dei casi per 20P e al 78% dei casi per 30P, il minimo (69%) lo si riscontra per ROM2\_30P mentre il massimo (100%) lo si ritrova per la sentinella SAV1 sia per 20 che 30 particelle. All'aumentare della distanza le differenze percentuali tra i due intervalli tendono a diminuire, e a distanze maggiori di 4,8 km dal centro del comparto, non si osservano più differenze.

Analizzando tutti i casi in cui si rilevano differenze fra i risultati delle simulazioni presso le sentinelle, riportati nella tabella 1 dell'ALLEGATO 3, si osserva che solo nel 6% dei casi le concentrazioni simulate sono  $> 3 \text{ OU/m}^3$  (min=0% presso le S. ANT3, ALB1 e SAV1 sia per 20P che 30P, max=15% presso ANT1\_30P); nel 7% le concentrazioni sono comprese fra 2 e 3  $\text{OU/m}^3$  (min=0% presso le S. ALB1 e SAV1 sia per 20P che 30P, max=12% presso ANT1\_20P), ed il restante 87% sono casi riferibili a concentrazioni simulate al recettore  $\leq 2 \text{ OU/m}^3$  (min=74% presso la S. ANT1\_30P, max=15% presso le S. ALB1 e SAV1 sia 20P che 30P). Non si verifica quindi una sovrastima o sottostima sistematica del modello in condizioni particolari, come per esempio concentrazioni elevate.

Se si considerano solo i valori di concentrazione che sono esterni all'intervallo  $1 \pm 0,5$  (tabella 2 dell'ALLEGATO 3), nell'87% dei casi per le 20P e nel 89% per le 30P, le concentrazioni simulate risultano  $\leq 2 \text{ OU/m}^3$ . Non si rilevano particolari criticità rispetto all'utilizzo di 20P o 30P, dato che le differenze percentuali maggiori sono del 21% per ANT1 (20P > 30P) e del 20% per ROM3 (20P < 30P).

Considerando solo i casi in cui le variazioni percentuali sono superiori al 20% (tabella 3 dell'ALLEGATO 3), le percentuali di concentrazioni maggiori di 3  $\text{OU/m}^3$  aumentano arrivando a 16% sia per 20P che 30P. Il valore maggiore è di 10  $\text{OU/m}^3$  osservato in una sola ora (ROM5\_30P il 03/08/2015 ore 21:00), negli altri casi i valori maggiori osservate nelle altre sentinelle sono di 4  $\text{OU/m}^3$  (ROM3\_20P e 30P) e 5  $\text{OU/m}^3$  (ROM2\_20P, ROM5\_20P, ANT1\_20P e 30P, ANT2\_20P e 30P); la differenza maggiore (16%) tra le 20P e le 30P riguarda la S. ROM5 (20P < 30P); le percentuali di concentrazioni minori o uguali di 2  $\text{OU/m}^3$  diventano del 69% per le 20P e del 72% per le 30P.

Riassumendo, la maggior parte dei valori ottenuti (calcolando rispetto alle 10P) sono compresi nell'intervallo  $1 \pm 0,2$ , cioè le concentrazioni simulate per rilasci crescenti di particelle non differiscono fra loro per non più del 20% nella maggioranza delle ore simulate, inoltre la maggior parte delle variazioni al di fuori di questo intervallo riguarda concentrazioni stimate generalmente basse, non generando quindi variazioni sostanziali nelle mappe del 98° percentile e dei massimi.

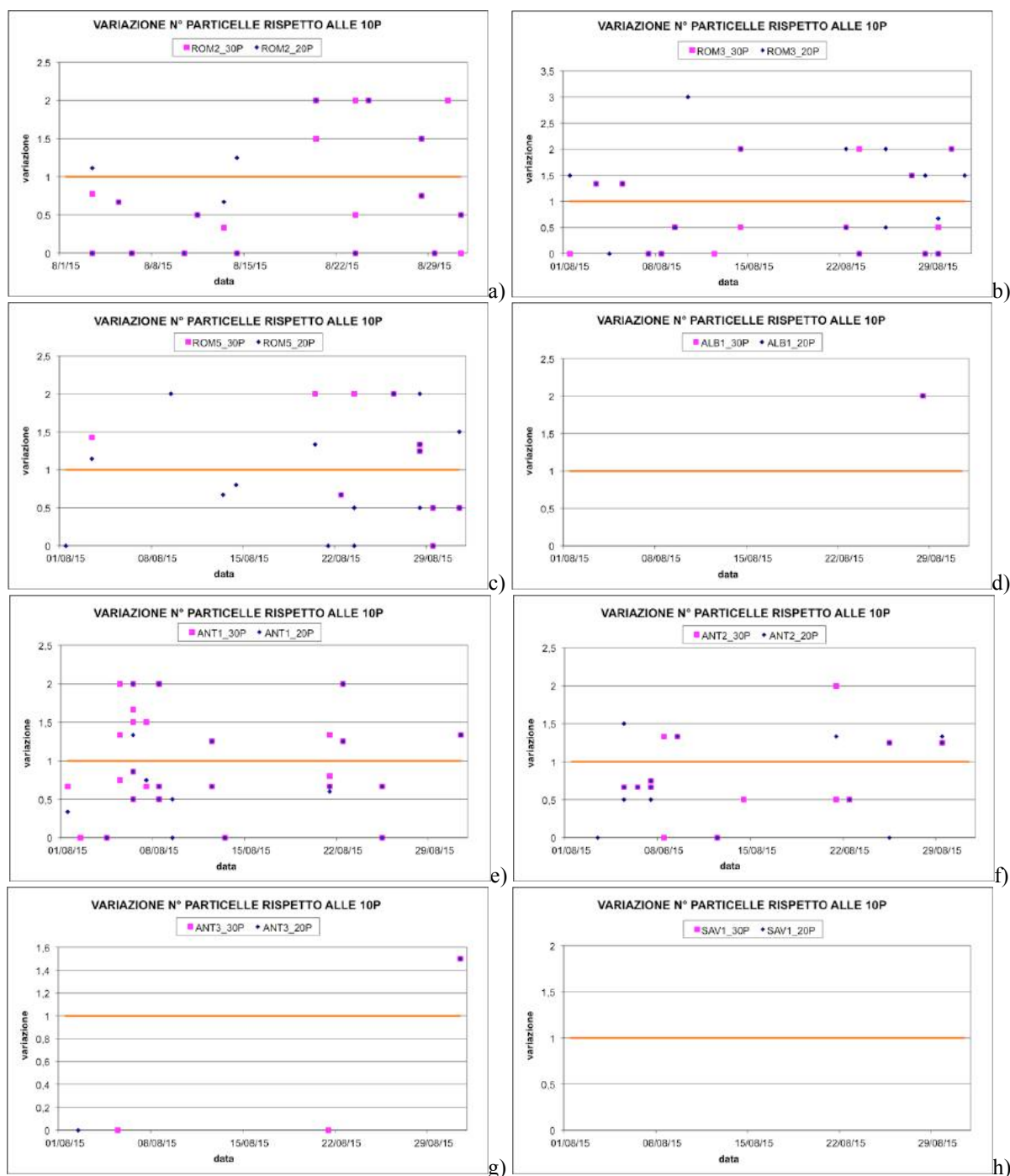


Figura 7.49: Variazione delle concentrazioni stimate da LAPMOD per 20 e 30 particelle rispetto a 10 particelle, periodo simulazione Agosto 2015, Simulazione 2, 23 sorgenti.

In Tabella 7.17 è indicato per ciascuna Sentinella il *Fractional Bias* che indica gli errori

sistematici, la *Normalized Mean Square Error* che indica sia gli errori sistematici che casuali e il *correlation coefficient (R)* che riflette la relazione lineare tra due variabili. Tali parametri solitamente sono utilizzati per confrontare i valori osservati ( $C_o$ ) con quelli ottenuti dai modelli di simulazione ( $C_p$ ) per dimostrare la fedeltà del modello rispetto al fenomeno di interesse. Questo approccio non è stato utilizzato per la validazione del modello relativamente all'impatto odorigeno (vedere paragrafo seguente), ma è stato adottato per confrontare le performance del modello al variare del numero di particelle. Tra le simulazioni fatte, il caso con 30 particelle è quello con più alta precisione ed è quindi stato assunto come  $C_o$ . Questi valori dimostrano ulteriormente che utilizzando un numero di 10 particelle i risultati delle simulazioni non cambiano significativamente.

$$FB = \frac{(\overline{C_o} - \overline{C_p})}{0,5(\overline{C_o} + \overline{C_p})} \quad NMSE = \frac{(\overline{C_o} - \overline{C_p})^2}{\overline{C_o} \overline{C_p}} \quad R = \frac{(\overline{C_o} - \overline{C_o})(\overline{C_p} - \overline{C_p})}{\sigma_{C_p} \sigma_{C_o}}$$

dove:

$C_o$  = concentrazione riferita a 30 particelle

$C_p$  = concentrazione riferita a 10 o 20 particelle

$\sigma_C$  = deviazione standard del dataset

**Tabella 7.17: Parametri statistici.**

		ROM2	ROM3	ROM5	ALB1	ANT1	ANT2	ANT3	SAV1	Media Sentinelle	Valore ottimale
<b>FB</b>	<b>10P</b>	-0,067	0,027	0,044	0,022	0,003	-0,015	0,015	-0,049	-0,003	<  0,3
	<b>20P</b>	-0,024	-0,009	0,041	-0,023	0,042	-0,010	0,021	-0,037	0,000	
<b>NMSE</b>	<b>10P</b>	1,126	0,467	0,719	0,480	0,385	0,304	0,628	0,995	0,638	< 1,5
	<b>20P</b>	0,908	0,243	0,495	0,190	0,154	0,188	0,307	0,497	0,373	
<b>R</b>	<b>10P</b>	0,964	0,969	0,976	0,996	0,975	0,984	0,977	0,980	0,977	$\cong 1$
	<b>20P</b>	0,972	0,983	0,982	0,997	0,990	0,990	0,990	0,987	0,986	

FB: può variare tra -2 e +2; = 0 indica risultati identici, >0 c'è sottostima, <0 c'è sovrastima rispetto a quello di riferimento.

NMSE: il valore di questo indice è sempre positivo; =0 indica risultati identici a quello di riferimento.

R: può variare tra -1 e +1; =+1 indica risultati identici rispetto a quello di riferimento.

## 7.14 VALIDAZIONE MODELLO DI SIMULAZIONE

Il modello LAPMOD è stato validato dagli sviluppatori utilizzando i risultati di alcuni rilasci sperimentali e confrontandone le performance con modelli di lunga storia. La validazione è stata effettuata con i risultati dell'esperimento condotto a Kincaid (USA), caratterizzato dal rilascio di esafluoruro di zolfo ( $SF_6$ ) da una sorgente puntiforme, il cui dominio di simulazione è caratterizzato da un terreno di tipo agricolo relativamente pianeggiante e da alcuni laghi.

Lapmod è in grado di simulare rilasci da sorgenti puntiformi, lineari, areali e volumetriche che possono avere una risoluzione temporale sino ad 1 secondo. I risultati della validazione con la sorgente puntiforme indicano una buona capacità del modello nel predire le concentrazioni osservate nelle diverse ore del giorno, per diverse velocità del vento, stabilità atmosferica e altezze di rimescolamento. Infatti i criteri di accettabilità di Chang e Hanna (2004), utilizzati per definire in maniera oggettiva le performance di un buon modello, sono tutti rispettati da LAPMOD. Inoltre il confronto con altri modelli ha mostrato che LAPMOD ha performance confrontabili se non superiori con quelle di altri modelli (HPDM, ADMS3, NAME, AERMOD, ISCST3). I dettagli dello studio di validazione sono riportati nell'articolo "Il sistema modellistico LAPMOD per la simulazione dell'inquinamento atmosferico in orografia complessa" di Bellasio e Bianconi (2012).

In questo studio le stime del modello sono state verificate confrontando le concentrazioni di odore simulate presso le residenze delle "sentinelle" con le segnalazioni registrate dalle stesse nello stesso arco temporale. Questo confronto consente una sorta di "verifica" del modello, in mancanza di misure di concentrazione di odore in aria ambiente con le quali poter validare i risultati delle simulazioni (come avviene, ad esempio, per le simulazioni delle immissioni di inquinanti tradizionali che possano essere misurati, anche in continuo, da apposite strumentazioni). Nel caso della simulazione della diffusione degli odori, quindi, il coinvolgimento della popolazione per la rilevazione delle molestie olfattive diventa uno strumento fondamentale.

Nel caso specifico, alle segnalazioni delle cosiddette "Sentinelle dell'odore" sono state associate le concentrazioni orarie di picco di odore stimate dal modello (altezza 1,5 m, arco temporale corrispondente alle segnalazioni); escluse quelle riconducibili all'evento del Mezzano, come spiegato nel paragrafo 7.12.

Questo tipo di approccio consente di verificare se ad una segnalazione corrisponde una risposta del modello; non di verificare se ad un massimo di concentrazione simulata corrisponda un evento rilevabile. Infatti, all'orario in cui il modello stima concentrazioni elevate, le persone possono non essere presenti nel luogo di segnalazione e, quindi, non viene registrata la presenza di odore.

Di seguito si riportano i risultati delle elaborazioni delle schede delle Sentinelle (per la loro localizzazione si veda la Figura 7.42) che hanno restituito schede valide, ad eccezione di ANT3 per la quale non sono mai state osservate corrispondenze tra simulazione e segnalazioni (porcilaia 8 Agosto 17:00 – 18:00, letame 21 Agosto 17:00 – 20:00). Nelle figure sono indicate

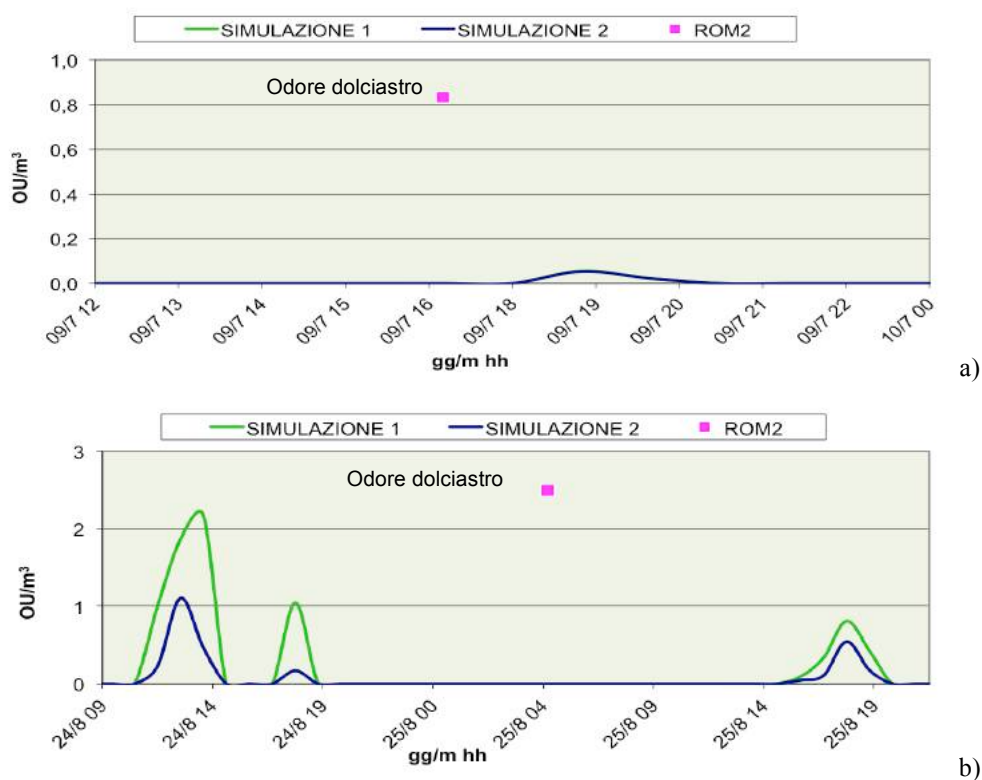
l'ora in cui la sentinella (indicata con la sigla corrispondente) ha segnalato un evento e le corrispondenti concentrazioni orarie di picco stimate dal modello per le due simulazioni effettuate (paragrafo 7.10).

### ROM2

In Figura 7.50a) per la S. ROM2 alla classificazione “odore dolciastro” corrisponde un evento stimato dal modello di simulazione, con uno scarto di 2 ore e a concentrazione molto bassa.

Analoga situazione per la seconda segnalazione (odore dolciastro, 26 Luglio, non riportata).

Alla segnalazione del 25 Agosto (Figura 7.50b), classificata “odore dolciastro” non corrisponde un evento stimato dal modello di simulazione, anche se la direzione di provenienza del vento indica che l'abitazione era sottovento rispetto al comparto.



**Figura 7.50: Segnalazioni ROM2 e concentrazione orarie di picco stimata da LAPMOD.**

### ROM3

In Figura 7.51 si osserva come per la S. ROM3 alla classificazione “odore dolciastro” corrisponda sempre un evento stimato dal modello di simulazione. Le Figura 7.51 b) c) e d) sono un focus a livello orario.



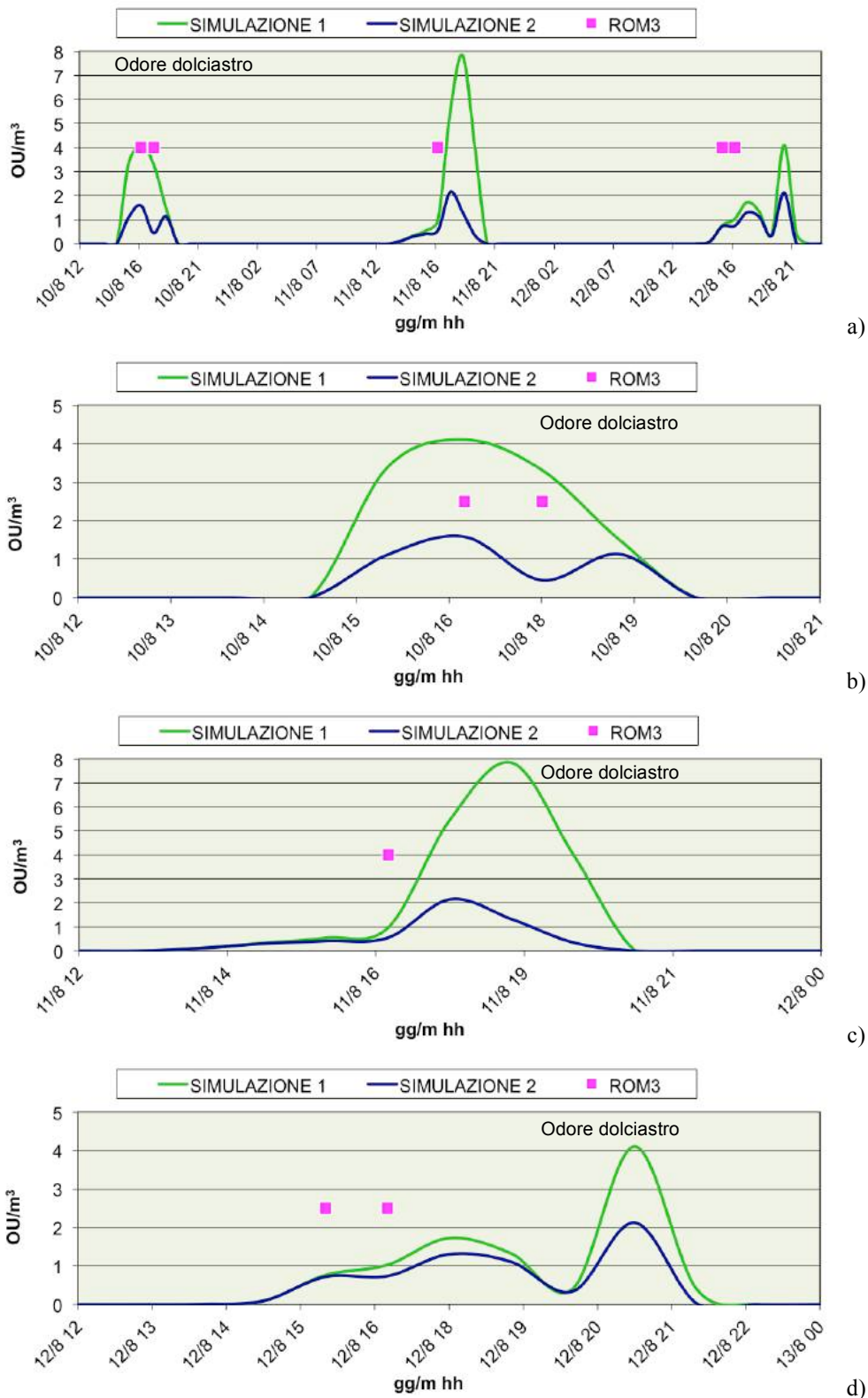


Figura 7.51: Segnalazioni ROM3 e concentrazione orarie di picco stimata da LAPMOD.

### ROM5

In Figura 7.52a) si osserva come per la S. ROM5 alla classificazione “odore dolciastro” corrisponda un evento stimato dal modello di simulazione, nel caso specifico si rileva uno scarto di 1 ora tra l’evento registrato e la stima del modello. Nella Figura 7.52b) si osserva come il

segnalatore abbia rilevato un evento, sempre classificato come “odore dolciastro” in corrispondenza di vento proveniente da ENE e con velocità > 6m/s (quindi il settore di provenienza dell’emissione odorigena può essere considerata < 30°) e perciò riconducibile ad un’altra sorgente. In corrispondenza dell’evento LAPMOD non ha simulato una concentrazione maggiore di zero in corrispondenza del recettore.

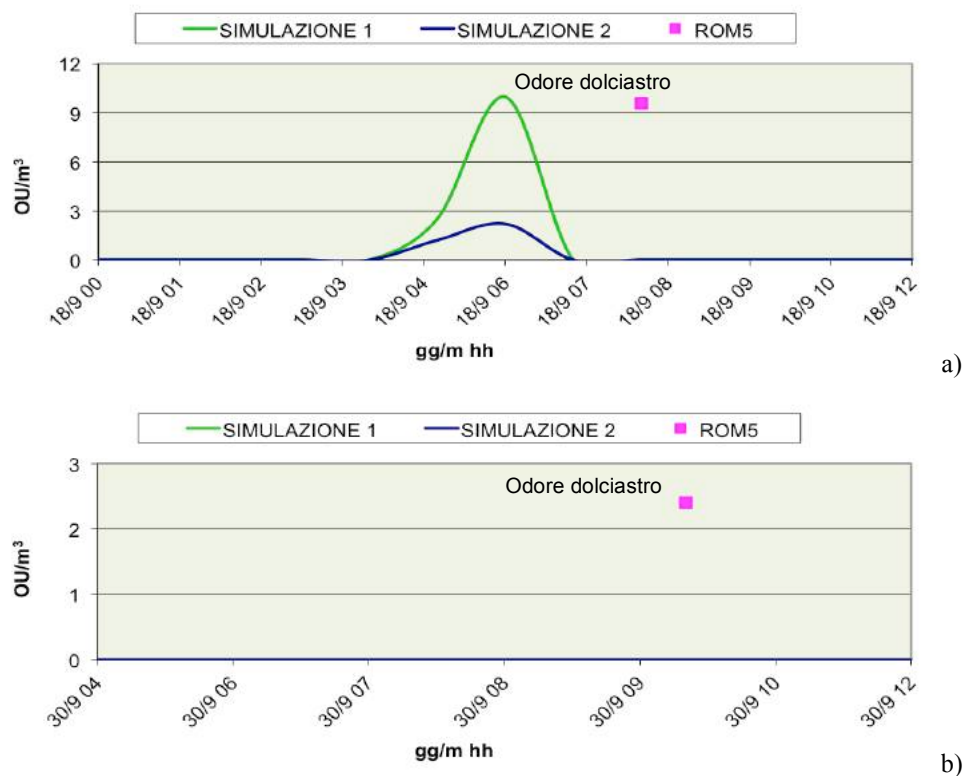


Figura 7.52: Segnalazioni ROM5 e concentrazione orarie di picco stimata da LAPMOD.

### ALB1

In Figura 7.53a) si osserva come, per la S. ALB1 alla classificazione “odore di letame” non corrisponda un evento stimato dal modello di simulazione. La concentrazione stimata più vicina in termini di tempo per questo recettore è di circa 12 ore dopo la segnalazione. In questo caso si può escludere che la segnalazione provenisse dall’area in esame; il vento di provenienza nelle ore di segnalazione era da N-NE. Nella Figura 7.53b) le segnalazioni “odore acre” per 3 casi su 4 corrispondono alla stima fatta dal modello. Nella Figura 7.53c) le tre segnalazioni “odore acre” corrispondono ad una stima fatta dal modello, seppure in questo caso il modello simula una concentrazione di odore inferiore a 1 OU/m<sup>3</sup>, la soglia alla quale il 50% delle persone percepisce un odore.

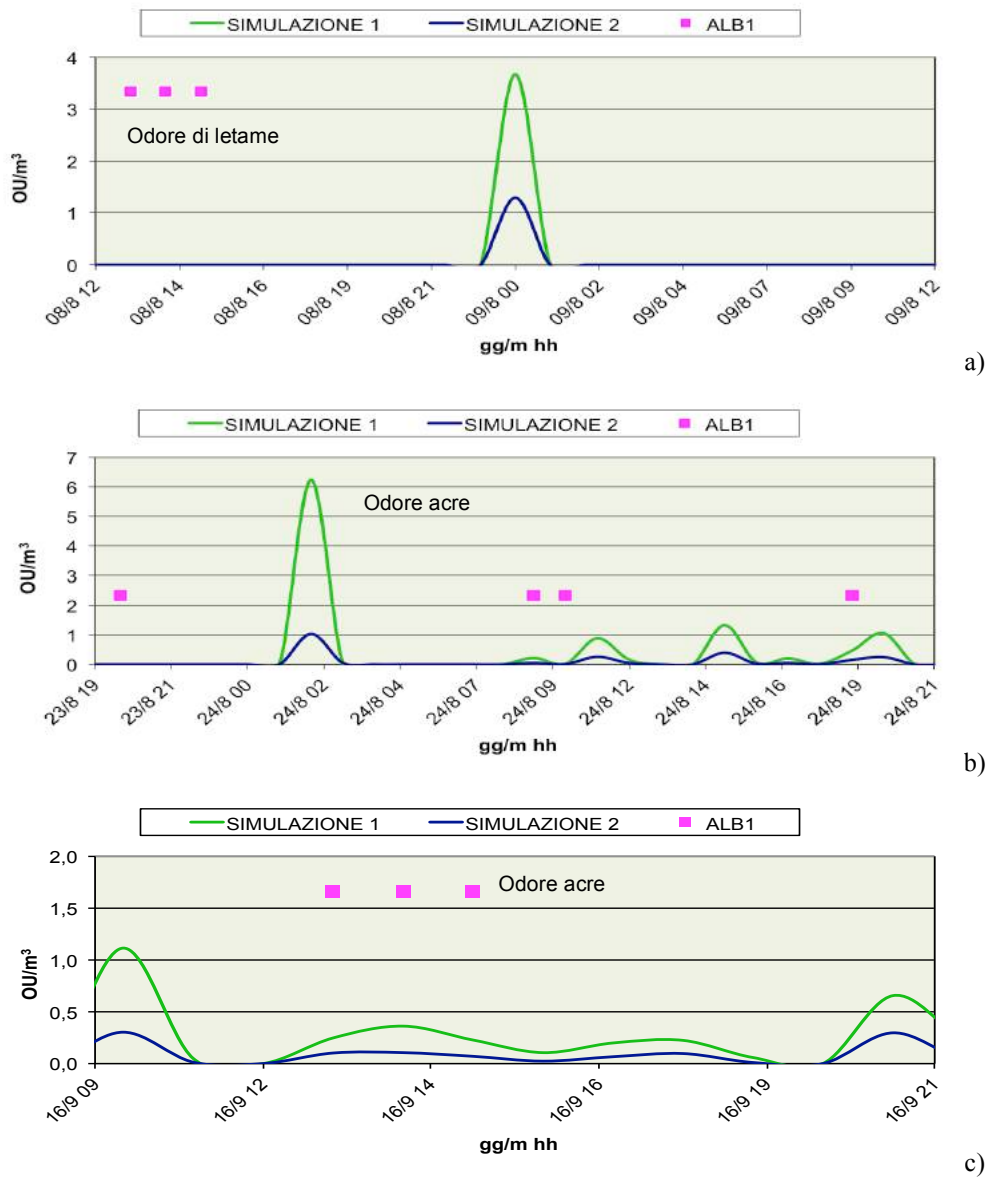


Figura 7.53: Segnalazioni ALB1 e concentrazione orarie di picco stimata da LAPMOD.

ANT1

In Figura 7.54a) sono riportate tutte le segnalazione pervenute da ANT1. Nel grafico, le tre diverse altezze degli indicatori, rappresentanti le segnalazioni di ANT1, corrispondono alle intensità segnate nella scheda di rilevazione dell'odore (+, ++ e +++). Si osserva come per le 2 simulazioni la differenza tra le concentrazioni massime orarie di odore stimate dal modello sia molto pronunciata, comunque con picchi di concentrazione elevati anche per la simulazione 2. Nel grafico le concentrazioni massime orarie di picco della simulazione 1 sono “troncate” per permettere una visualizzazione più chiara della simulazione 2, nella tabella seguente sono riportati i valori troncati più alti.

**Tabella 7.18: Data, ora e concentrazione di odore di alcuni valori più alti di concentrazione massima oraria di picco in corrispondenza delle segnalazioni di ANT1.**

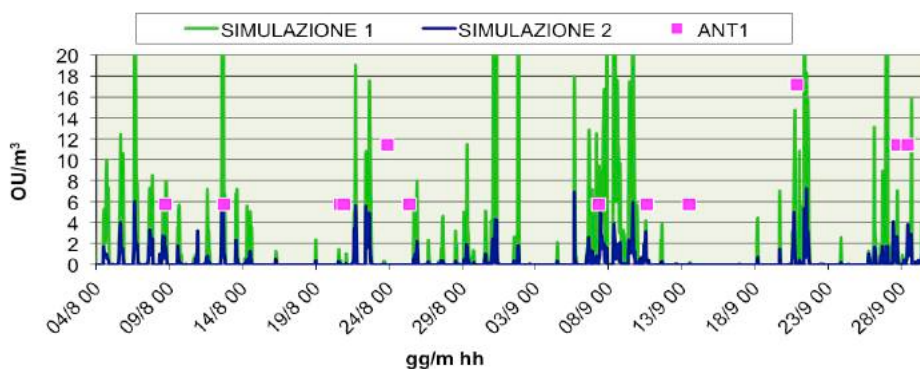
DATA E ORA	02/07/15 04:00	10/07/15 10:00	12/08/15 15:00	01/09/15 20:00	09/09/15 16:00	21/09/15 09:00
OU/m <sup>3</sup>	35	38	37	45	48	70

In Figura 7.54b), d) (prima segnalazione), h) alle segnalazioni “odore di porcilaia”, si riscontra sempre una corrispondenza con la stima calcolata dal modello.

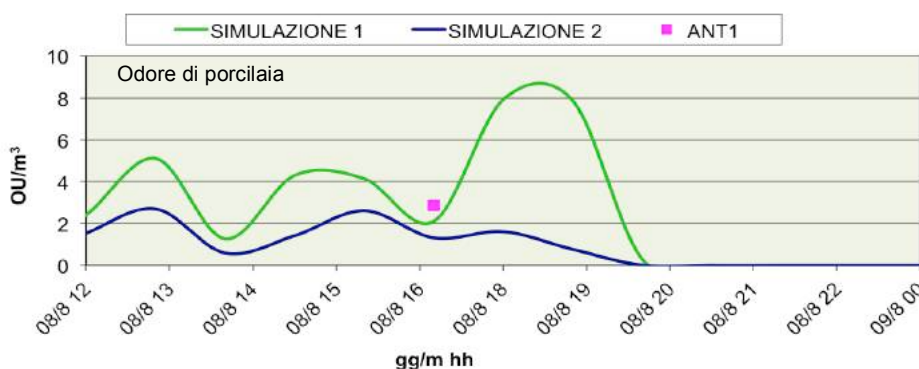
Nella Figura 7.54c), d) (seconda segnalazione), e), g), i), l), m) sono indicate le segnalazioni corrispondenti a “odore di discarica”; nella figura d) non c'è corrispondenza (provenienza del vento SSE con velocità > 3 m/s), in 2 casi le concentrazioni stimate sono molto basse (e), i)) e nella e) c'è uno scarto di 3 ore tra segnalazione e simulazione.

Nella Figura 7.54f) è indicata la segnalazione corrispondente a “farina di pesce”, unica segnalazione con questa denominazione, anche in questo caso si possono escludere le sorgenti in studio come fonte di questo odore.

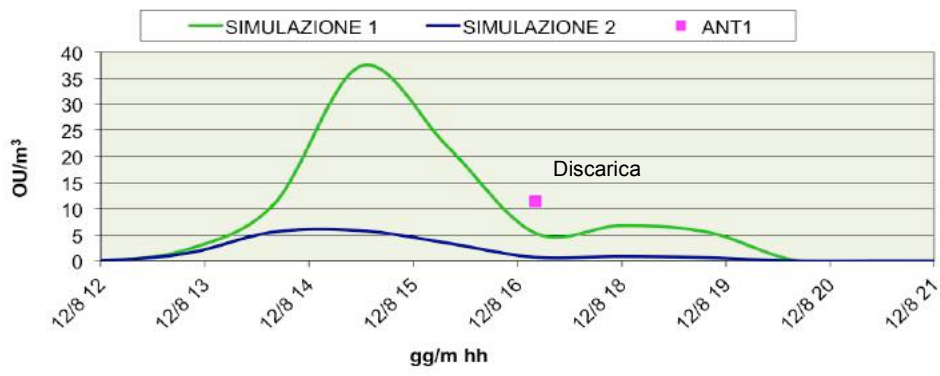
Nonostante in alcuni casi la stima del modello sia molto bassa, si osserva comunque un riscontro con la segnalazione di ANT1, ad indicare che le condizioni meteorologiche erano in quel momento favorevoli alla dispersione di sostanze odorogene in quell'area.



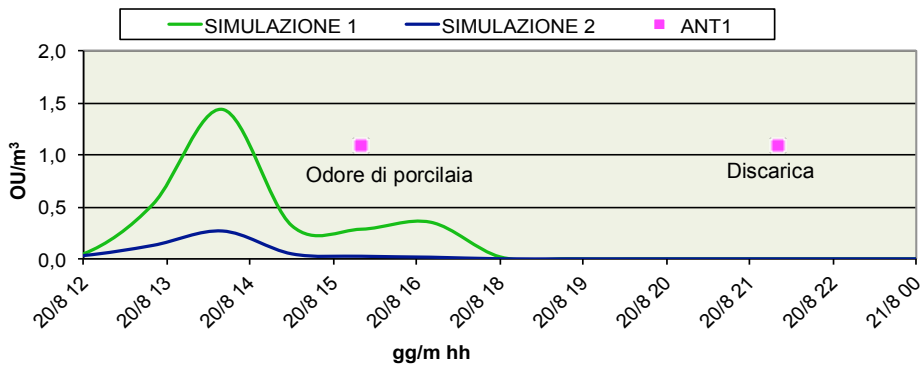
a)



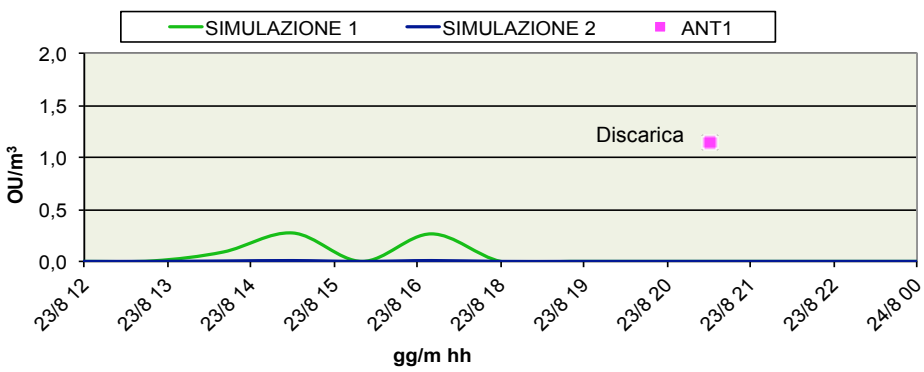
b)



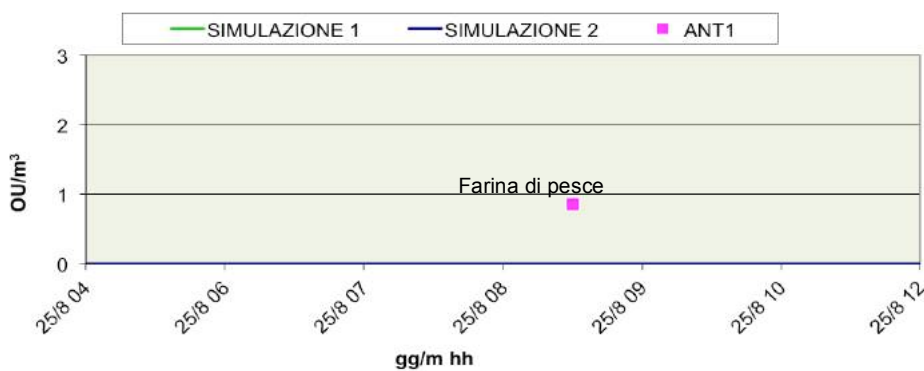
c)



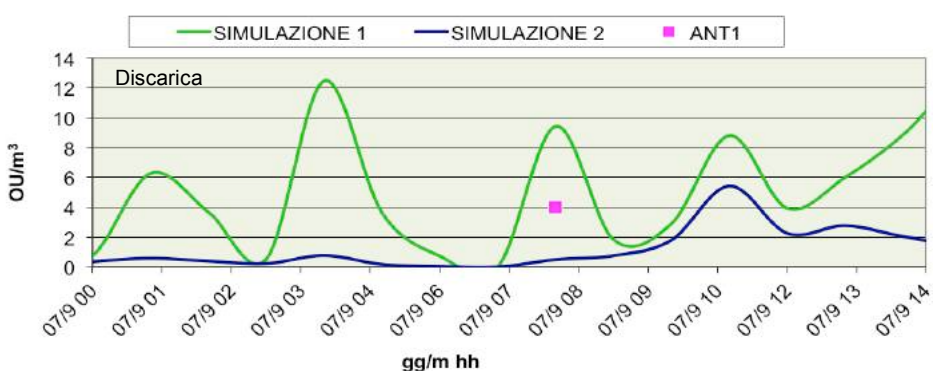
d)



e)



f)



g)

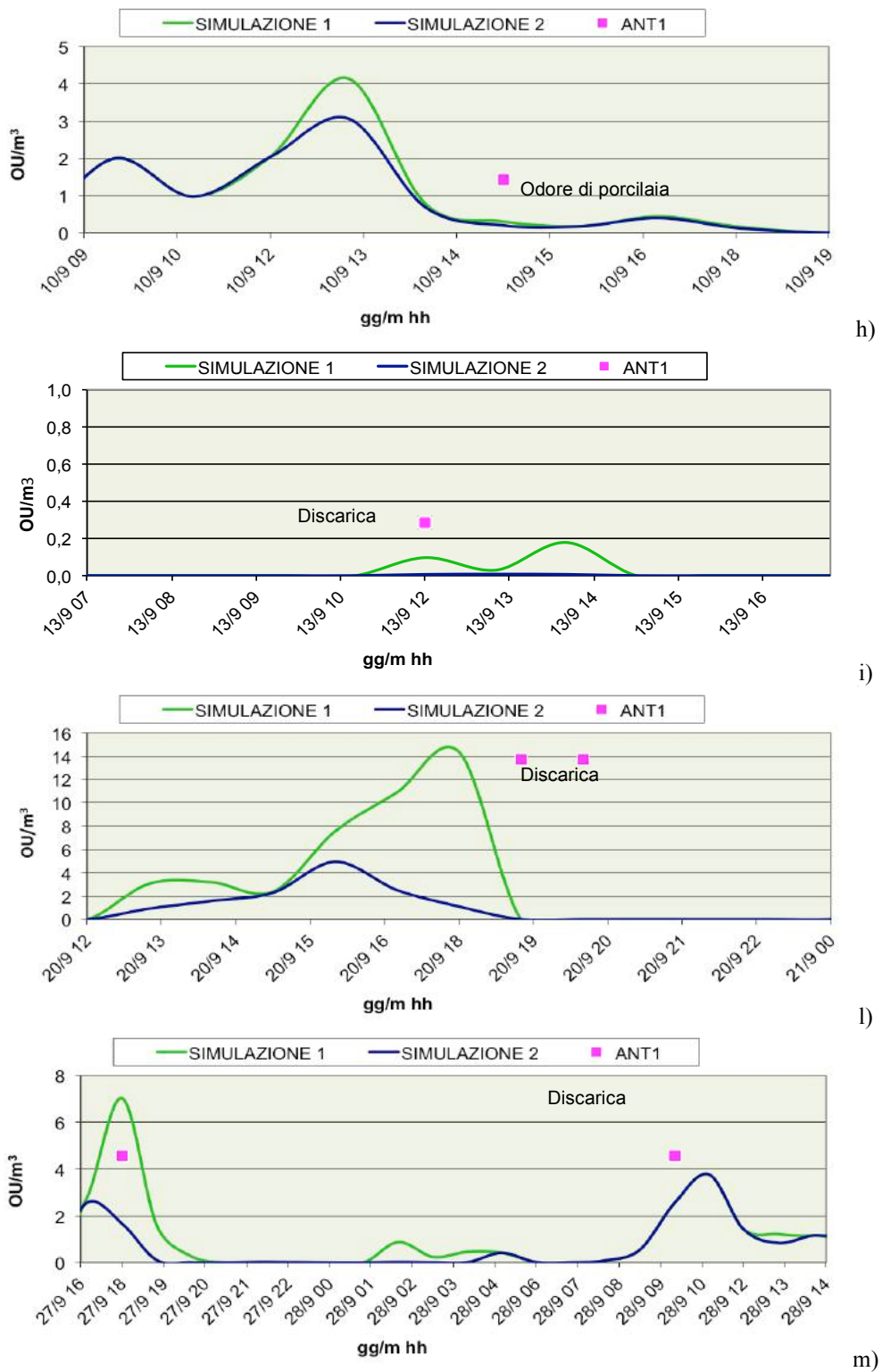


Figura 7.54: Segnalazioni ANT1 e concentrazione orarie di picco stimata da LAPMOD.

### ANT2

Nella Figura 7.55a) e b) sono indicate le segnalazioni “odore di decomposizione” segnalate da ANT2, come per ANT1 le concentrazioni orarie di picco raggiungono picchi molto elevati per entrambe le simulazioni. Questo dipende dal fatto che queste 2 sentinelle sono quelle più vicine alle sorgenti.

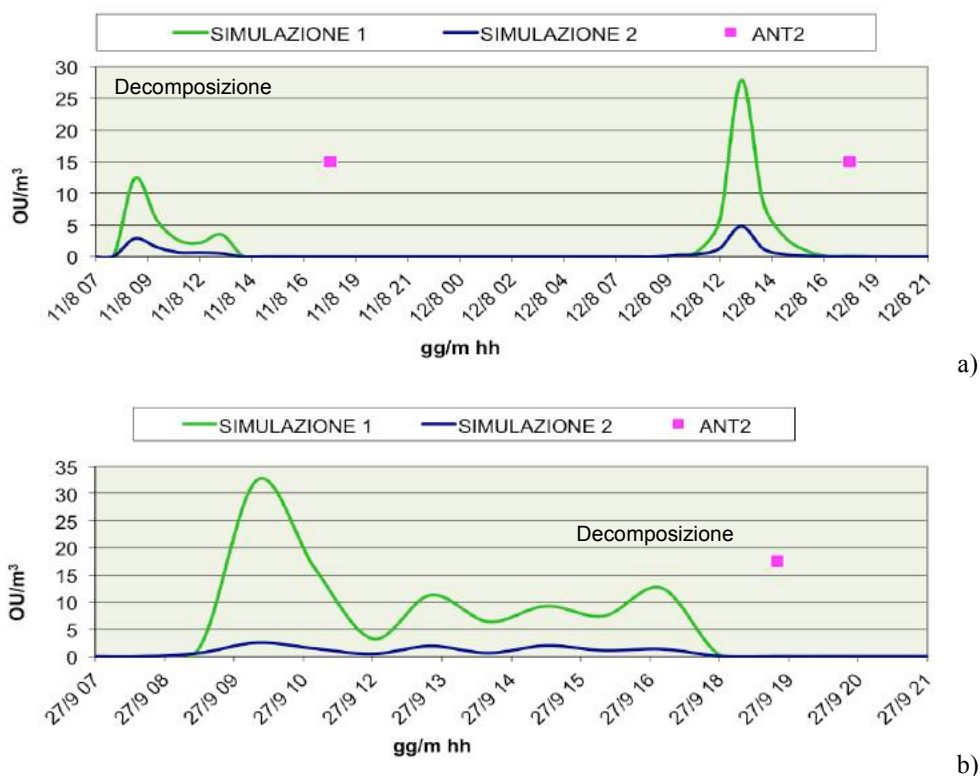


Figura 7.55: Segnalazioni ANT2 e concentrazione orarie di picco stimata da LAPMOD.

### SAV1

Man mano che ci si allontana dalle sorgenti, a causa dei fenomeni di dispersione, le differenze nei picchi di concentrazione oraria tra le 2 simulazioni tendono ad appiattirsi, come mostrato in Figura 7.56, che rappresenta 4 episodi segnalati in 2 giornate dalla Sentinella localizzata a Savarna (insieme ad ALB1 quella più lontana). Per il giorno 31 Luglio non si rileva corrispondenza mentre per il primo di agosto c'è corrispondenza e, per il terzo picco, si nota una sovrapposizione dei picchi.

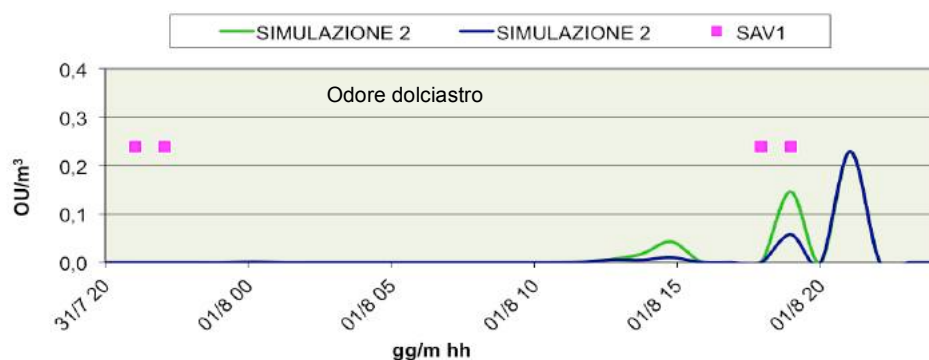


Figura 7.56: Segnalazioni SAV1 e concentrazione orarie di picco stimata da LAPMOD.

Si è deciso di escludere la segnalazione “rancido” dalle elaborazioni essendo l'unica di quella tipologia. Per le segnalazioni “odore di letame” e “farina di pesce” (per quest'ultima una sola segnalazione) il modello non ha mai stimato concentrazioni superiori a zero. Tali tipologie di

odore possono allora essere escluse come provenienti dalle sorgenti dell'area di studio. Tale considerazione non può invece essere fatta per la segnalazione "odore di porcilaia" per la quale non può essere esclusa con certezza l'origine dal comparto.

Per particolari tipologie di odore segnalato (odore dolciastro, odore acre, discarica, e decomposizione) corrisponde sia una direzione del vento compatibile con le sorgenti considerate, sia concentrazioni significative simulate dal modello; queste tipologie di odore, possiamo allora, associarle alle sorgenti del comparto.

Assumendo le segnalazioni delle sentinelle come punto di riferimento della presenza di odore derivante dal comparto (per le tipologie di odore: dolciastro, acre, discarica, decomposizione), il numero di corrispondenze tra modello e sentinelle è di 20 mentre le "non corrispondenze" sono 6; delle 20 corrispondenze, 5 hanno uno scarto di 1-2 ore, 3 una concentrazione inferiore a 0,5 OU/m<sup>3</sup>, e 2 entrambi gli aspetti. Si può quindi ritenere il modello di simulazione adottato un buon strumento nella stima delle concentrazioni di odore: nonostante il numero esiguo di sentinelle (e di segnalazioni) la corrispondenza tra le simulazioni e le segnalazioni è decisamente buona.

Nella tabella seguente sono riportate le elaborazioni di alcuni indici statistici calcolati a partire dalle concentrazioni orarie di picco relative alle due simulazioni, descrittive dell'impatto odorigeno del comparto, dal 1 Luglio al 30 Settembre 2015 presso le sentinelle. Dalla tabella emerge come le due simulazioni siano molto diverse. La variazione percentuale fra i massimi stimati ai recettori dalle due simulazioni è sempre superiore al 60%, e la stessa cosa si osserva confrontando il 98° percentile. Le differenze tra i valori delle due simulazioni sono maggiori per le sentinelle più vicine alle sorgenti, man mano che aumenta la distanza dal comparto queste differenze sono sempre meno apprezzabili.

**Tabella 7.19: Indici statistici dell'impatto olfattivo relativi alla simulazione 1 e 2, periodo di riferimento Luglio – Settembre 2015.**

	ROM2	ROM3	ROM5	ALB1	ANT1	ANT2	ANT3	SAVI
n° dati orari	2208	2208	2208	2208	2208	2208	2208	2208
numero di dati > 0	737	796	763	433	925	752	774	484
% dati > 0	33%	36%	35%	20%	42%	34%	35%	22%
max delle conc. orarie sim. 1 (OU/m <sup>3</sup> )	39	33	33	7	70	101	28	5
max delle conc. orarie sim. 2 (OU/m <sup>3</sup> )	9	13	12	2	15	10	6	1
variazione % fra max delle simulazioni	77%	61%	64%	71%	79%	90%	79%	80%
98° percentile sim. 1 (OU/m <sup>3</sup> )	5	7	6	0	17	15	3	1
98° percentile sim. 2 (OU/m <sup>3</sup> )	2	2	2	0	3	2	1	0
variazione % fra 98° delle simulazioni	60%	71%	67%	* \	82%	87%	67%	* \
media conc. orarie sim. 1 (OU/m <sup>3</sup> )	0,5	0,7	0,6	0,0	1,6	1,0	0,3	0,1
media conc. orarie sim. 2 (OU/m <sup>3</sup> )	0,2	0,2	0,2	0,0	0,3	0,2	0,1	0,0

\* la variazione percentuale è 0.



Nelle immagini seguenti è rappresentata la dispersione simulata delle particelle rappresentative delle emissioni con una altezza inferiore a 60m, dalle ore 13:00 alle ore 15:00 dell'8 Agosto 2015. Durante tale intervallo temporale ALB1 ha segnalato odore di letame; come visto nella Figura 7.53 non c'è corrispondenza tra l'odore percepito e l'area di studio.



**Figura 7.57: Dispersione delle particelle del 08/08/2015, ore 13:00-15:00.**

Nelle immagini seguenti è rappresentata la dispersione delle particelle con una altezza inferiore a 60m, dalle ore 15:00 alle ore 20:00 dell'12 Agosto 2015. Durante tale intervallo temporale ROM3 ha segnalato percepire odore dolciastro dalle ore 16:00 alle ore 17:00 come visto in Figura 7.51d), ANT1 ha segnato odore discarica alle ore 17:00 e ANT2 odore di decomposizione alle ore 18:00 come visto in Figura 7.55a). In questo caso si osserva come la direzione del vento cambi durante le ore della giornata spostando la dispersione degli odori da SO a NO durante le ore considerate in concomitanza delle segnalazioni.

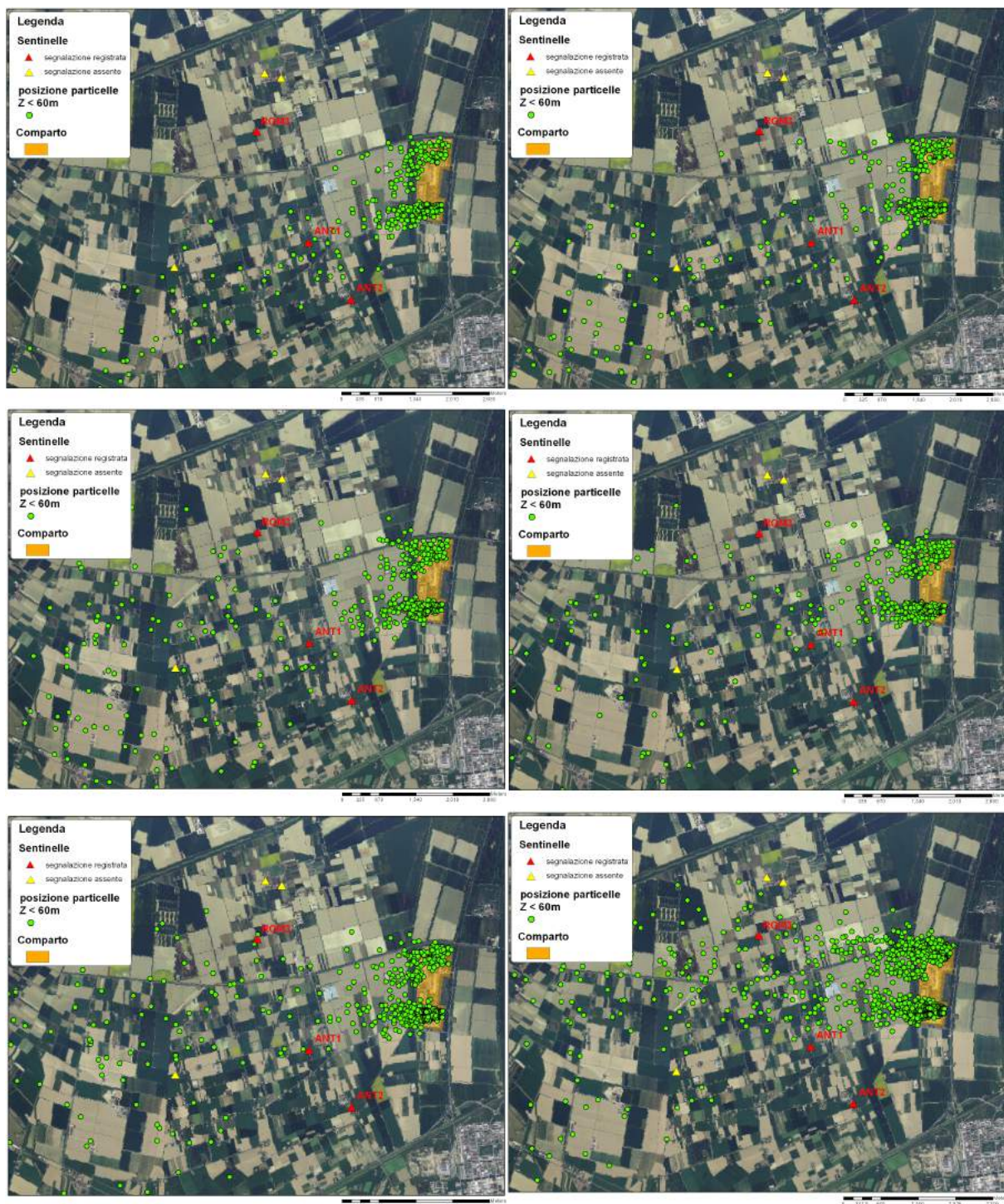


Figura 7.58: Dispersione delle particelle del 12/08/2015, ore 15:00-20:00.

Nelle immagini seguenti è rappresentata la dispersione delle particelle con una altezza inferiore a 60m, dalle ore 15:00 alle ore 17:00 del 12 Settembre 2015. Alle ore 16:00 ANT2 ha segnalato odore di letame; anche in questo caso, sulla base delle simulazioni condotte, si può escludere che l'odore di letame provenisse dall'area in esame.



Figura 7.59: Dispersione delle particelle del 12/09/2015, ore 15:00-17:00.

### 7.14.1 CONFRONTO TRA LE SIMULAZIONI

Come mostrano le immagini seguenti e i risultati riportati nella Tabella 7.19, per la Simulazione 2, in corrispondenza delle Sentinelle viene stimato un 98° percentile delle concentrazioni orarie di picco superiore a 1 OU/m<sup>3</sup>, per 4 recettori su 8 (max 3,2 OU/m<sup>3</sup> presso ANT1).

Per quanto riguarda, invece, la Simulazione 1, il 98° percentile risulta sempre superiore ad 1 OU/m<sup>3</sup> ad eccezione dei recettori più lontani di Sant'Alberto e Savarna, con valori compresi tra 0,4 OU/m<sup>3</sup> a Sant'Alberto e 17,5 OU/m<sup>3</sup> a Sant'Antonio (ANT1). La variazione percentuale fra i 98° percentili è molto ampia, variando tra il 61% (ROM5) e l'85% (ANT2). Variazioni ancora più marcate si rilevano confrontando i massimi delle concentrazioni orarie di picco (dal 61% a ROM3 al 91% a ANT2). In generale l'effetto mitigativo delle tettoie e paratie è sempre ben al di sopra del 50%, sia considerando il 98° percentile, sia considerando i massimi orari di picco.

Probabilmente, non tenere conto della presenza delle paratie laterali e delle tettoie dei cumuli di stoccaggio dei fanghi (simulazione 1) - annullando totalmente il loro effetto protettivo sui tassi emissivi - è una assunzione che porta a sovrastimare l'emissione e quindi l'impatto di queste sorgenti. D'altra parte, non considerare l'effetto del vento (simulazione 2), comporta probabilmente una leggera sottostima in quanto si perde il contributo all'emissione dato

dall'azione del vento quando questo incide sul lato scoperto del cumulo, così come descritto nel paragrafo 7.10.

In Figura 7.60 sono confrontate le curve di isoconcentrazione al 98° percentile della Simulazione 1 (curva gialla) e della Simulazione 2 (curva rossa). Gli intervalli nelle immagini seguenti corrispondono rispettivamente a 2000, 600, 300, 100, 50, 25, 10, 5, 3 e 1 OU/m<sup>3</sup>. Dall'ampiezza dell'area racchiusa dalla curva di isoconcentrazione si osserva come l'effetto del vento sui tassi emissivi contribuisca in maniera significativa all'impatto odorigeno del comparto; l'effetto aumenta man mano che ci si allontana dalle sorgenti, raggiungendo una differenza tra le 2 curve di isoconcentrazione di circa 2 km per le 5 OU/m<sup>3</sup>, di circa 2,5 km per 3 OU/m<sup>3</sup> e di oltre 3,5 km per la curva ad 1 OU/m<sup>3</sup>, in particolar modo ad Est del comparto (rispettivamente Figura 7.60h, i) e l)).

In Figura 7.60b) la netta sovrapposizione tra le due curve di isoconcentrazione, nell'area Nord del comparto è imputabile alla discarica, per la quale sono state mantenute le stesse impostazioni (contributo del vento al tasso emissivo) in entrambe le simulazioni. Situazione analoga si rileva nella Figura 7.60c) e d).

Al diminuire della concentrazione di odore si osserva una totale separazione tra le due curve (Figura 7.60e-l)), e non si distingue più il contributo dato dalle sole sorgenti a Nord del comparto rispetto a quelle localizzate a Sud.





c)



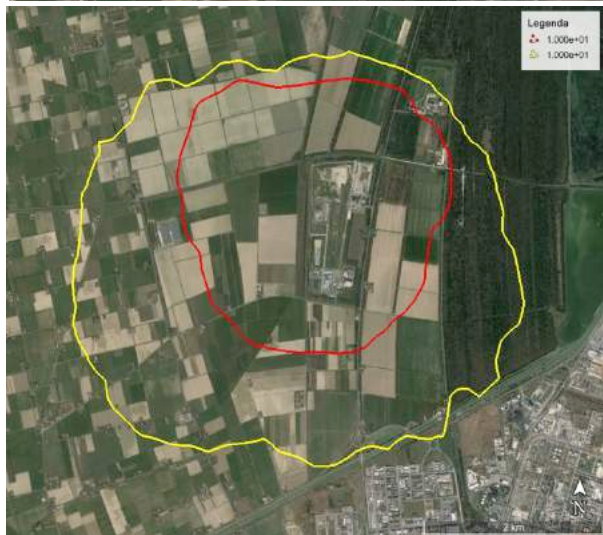
d)



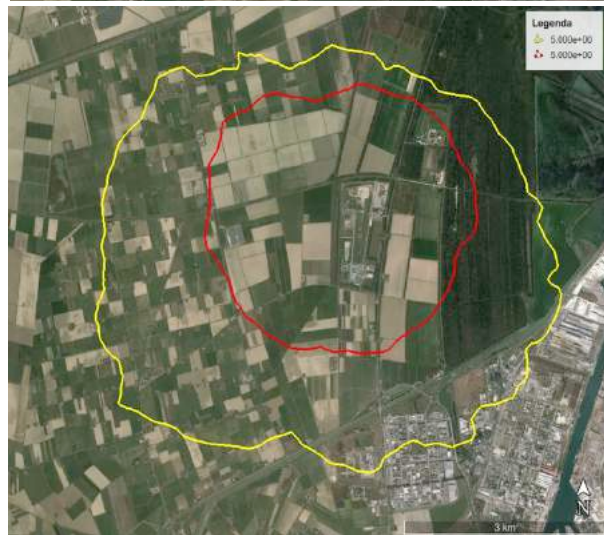
e)



f)



g)



h)

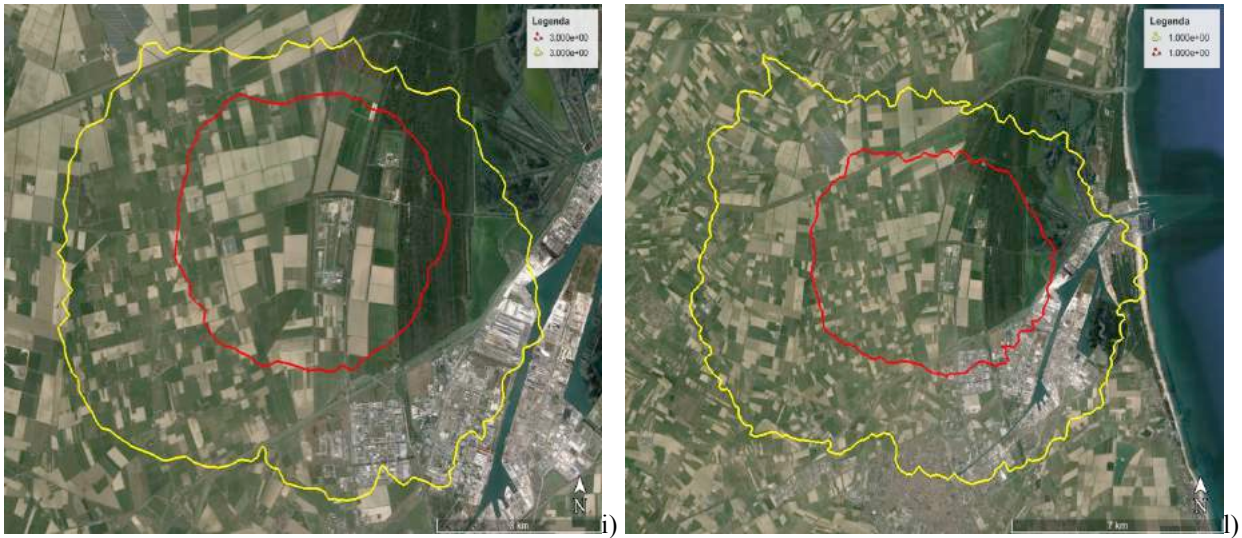


Figura 7.60: 98° percentile per la simulazione 1 (giallo) e simulazione 2 (rosso), Luglio-Settembre 2015, 23 sorgenti.

Valutando le due simulazioni, tenendo conto delle assunzioni illustrate in precedenza, e della validazione effettuata dal confronto con le segnalazioni, la Simulazione 2 risulta essere più coerente con la realtà. Nella figura seguente è rappresentata la mappa di iso-concentrazione con i 98° percentili riferita all'anno 2014.

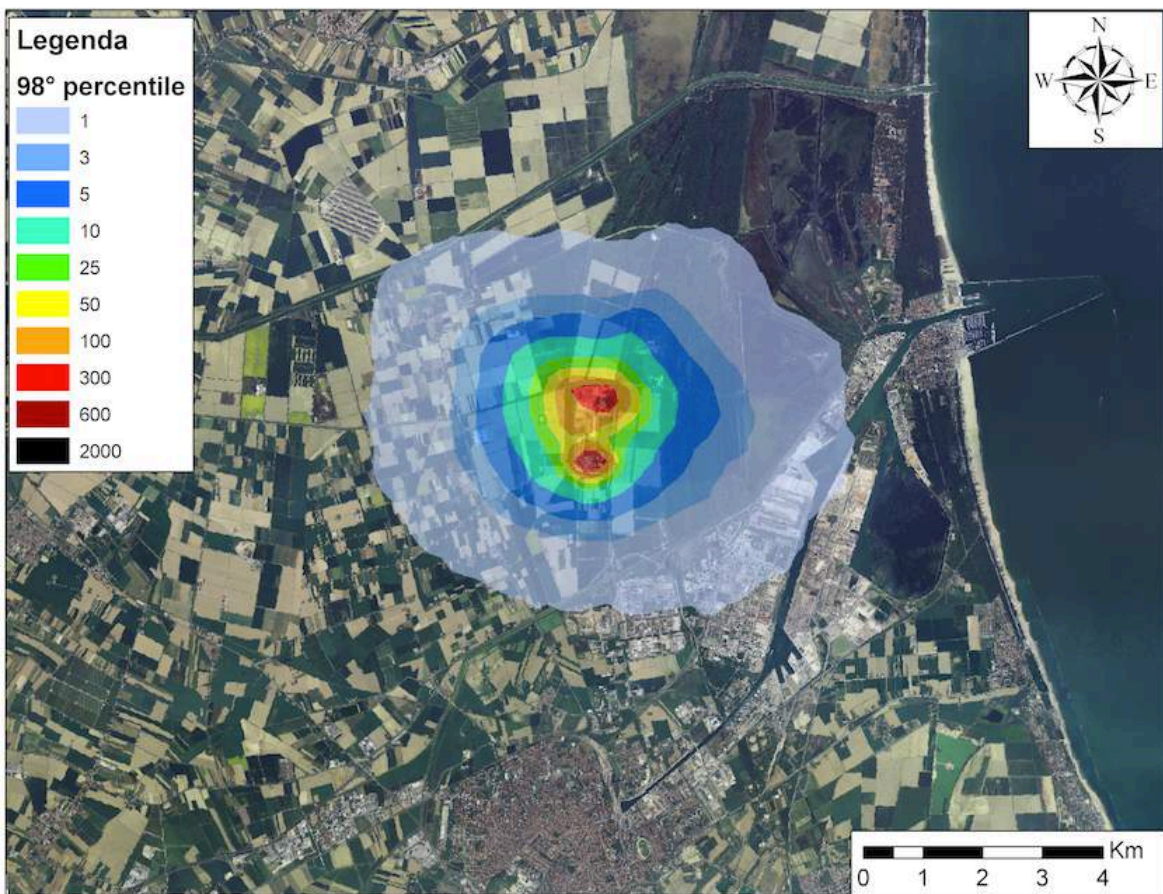


Figura 7.61: Simulazione 2, 23 sorgenti, modulo odori, anno 2014.

## 7.15 SIMULAZIONI ANNUALI

### 7.15.1 CONFRONTO TRA SIMULAZIONE CON 23 E 81 SORGENTI

Come detto in precedenza i pozzetti di percolato vengono aperti per periodi di tempo limitati, solamente in situazioni di pulizia o casi straordinari, inoltre mancano le informazioni inerenti le reali ore di apertura dei pozzetti durante l'anno 2014, che sono state quindi inserite casualmente nel modello solo considerando la frequenza dichiarata. I risultati della simulazione condotta con tutte le sorgenti, compresi i 58 pozzetti e vasche di percolato, confrontati con quelli della simulazione effettuata escludendo il percolato (23 sorgenti), mettono comunque in luce la non significatività dell'impatto odorigeno di questa tipologia di sorgente.

In Figura 7.62 sono rappresentate le mappe del 98° percentile per l'anno 2014 di entrambe le simulazioni; in giallo è riportata la simulazione senza considerare le 58 sorgenti riferite al percolato, mentre in rosso è raffigurata la simulazione considerando tutte e 81 le sorgenti. Le linee di iso-concentrazione si riferiscono agli intervalli: 2000, 600, 300, 100, 50, 25, 10, 5, 3 e 1 OU/m<sup>3</sup>. Il confronto è stato effettuato utilizzando la Simulazione 1. Come si osserva dalle mappe, le isolinee di concentrazione si sovrappongono quasi perfettamente, ad indicare che, tralasciando le 58 sorgenti riferite al percolato, non si commette una sottostima significativa dell'impatto odorigeno del comparto. Nell'ALLEGATO 4 sono riportate le concentrazioni massime orarie, il 98° percentile, il numero di ore e relativa percentuale in cui viene superata la concentrazione oraria di 1, 3 e 5 UO/m<sup>3</sup>, evidenziando in rosso i valori diversi, riferiti ai 66 recettori, tra le due simulazioni. In Tabella 7.20 è riportata una sintesi dei risultati: osservando in particolare il 98° percentile, le differenze sono numericamente poche e soprattutto molto piccole, comprese nella maggior parte dei casi fra 1 e 3 unità (95,7% delle ore simulate ai 66 recettori).

**Tabella 7.20: Statistiche confronto simulazioni con e senza percolato.**

<b>Numero celle matrice (8758x66)</b>	578028
<b>Numero celle "uguale"</b>	516021
<b>Numero celle "diverso"</b>	62007
<b>% dati uguali</b>	89,3%
<b>numero celle con differenza &gt; 1 unità</b>	62007
<b>% celle con differenza &gt; 1 unità</b>	6,4%
<b>numero celle con differenza &gt; 3 unità</b>	25195
<b>% celle con differenza &gt; 3 unità</b>	1,4%
<b>numero celle con differenza &gt; 5 unità</b>	16989
<b>% celle con differenza &gt; 5 unità</b>	1,2%
<b>numero celle con differenza &gt; 10 unità</b>	9770
<b>% celle con differenza &gt; 10 unità</b>	1,3%
<b>numero celle con differenza &gt; 50 unità</b>	2366
<b>% celle con differenza &gt; 50 unità</b>	0,4%

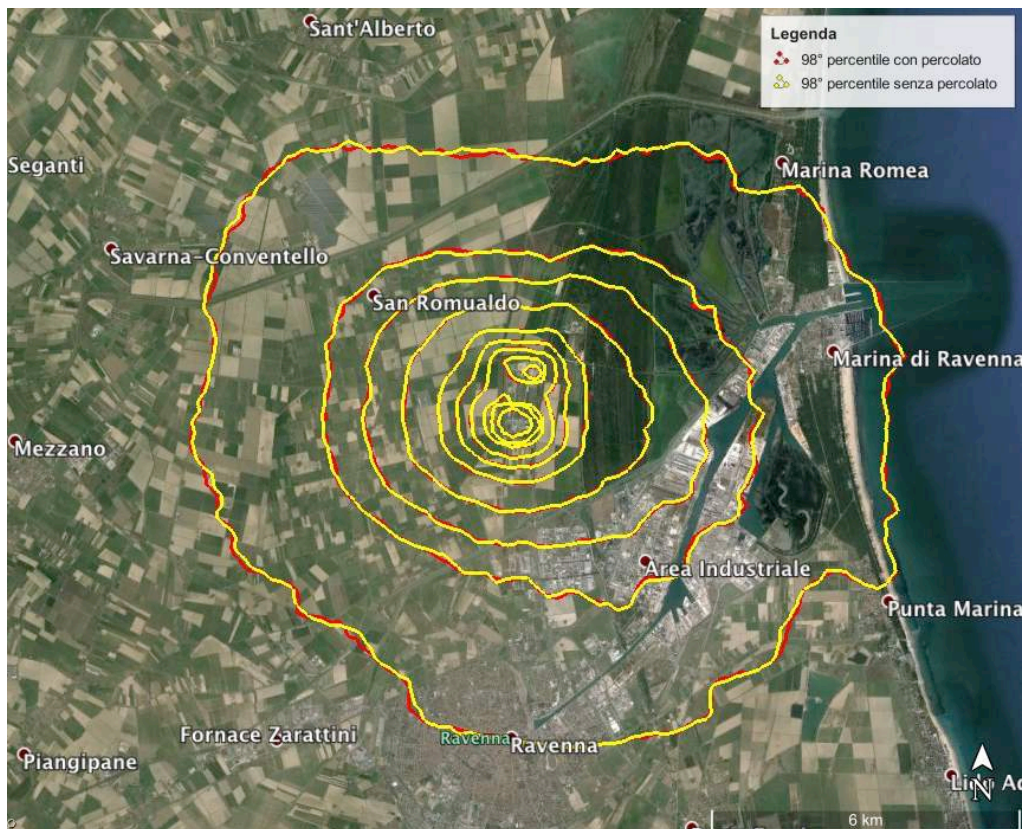


Figura 7.62: Confronto del 98° percentile della Simulazione 1 con e senza le sorgenti del percolato (anno 2014).

### 7.15.2 CONFRONTO TRA SIMULAZIONE CON METODO CLASSICO E MODULO SPECIFICO PER GLI ODORI

Per testare la capacità del modulo specifico per gli odori di LAPMOD nel simulare le concentrazioni orarie di picco e le relative mappe di iso-concentrazione del 98° percentile delle stesse, è stata condotta una simulazione impostando all'interno del modello un inquinante inerte (CO) al posto dell'inquinante odore. Dai risultati di questa simulazione sono state calcolate le concentrazioni orarie di picco applicando un peak-to-mean ratio di 2,3, secondo le indicazioni delle Linee Guida della Regione Lombardia. Il confronto è stato fatto sia per la Simulazione 1 che per la Simulazione 2.

Nelle immagini seguenti sono mostrate le differenze tra il modo classico di calcolare le concentrazioni ai recettori (utilizzando il peak-to-mean ratio uguale a 2,3) rappresentato dalle isolinee rosse e il modulo specifico di LAPMOD per gli odori che calcola le concentrazioni orarie di picco in base alle classi di stabilità atmosferica che la particella incontra nel suo percorso all'interno del dominio di simulazione, rappresentato dalle isolinee gialle. Gli intervalli corrispondono a 2000, 600, 300, 100, 50, 25, 10, 5, 3 e 1 OU/m<sup>3</sup>.

In Figura 7.63, raffigurante la Simulazione 1, si osserva come nel caso classico a concentrazioni più elevate il 98° percentile delle concentrazioni orarie di picco risulti più ristretto rispetto al modulo di LAPMOD (a – f), a concentrazioni più basse le due curve tendono ad assomigliarsi



in estensione (g – h)), mentre a concentrazioni di 3 OU/m<sup>3</sup>, la curva ottenuta con il “peak-to-mean costante” tende ad estendersi maggiormente rispetto alla curva con il “peak-to-mean variabile”, fino ad essere totalmente ricompresa quando si raggiungono le 1 UO/m<sup>3</sup>. A concentrazioni da 10 a 5 UO/m<sup>3</sup> le curve lungo l’asse N-S hanno la stessa estensione rispetto al comparto, mentre lungo l’asse longitudinale la curva gialla è più spostata verso O, quella rossa rispetto E.

Considerazioni analoghe si possono fare per la Simulazione 2, i cui risultati sono rappresentati in Figura 7.64. In questo caso nella Simulazione con l’inerte, la prima concentrazione rilevata (300 UO/m<sup>3</sup>) è inferiore rispetto a quella con il modulo per gli odori.

In entrambi i casi, le isolinee a 1 e 3 UO/m<sup>3</sup> risultano più ampiamente disperse verso Ovest per le simulazioni ottenute applicando il modulo specifico per gli odori rispetto ad un inquinante inerte.

In ALLEGATO 5, per le Simulazioni effettuate, sono riportate le concentrazioni massime orarie, i 98° e i 90° percentili, il numero di ore e la relativa percentuale in cui vengono superate le concentrazioni orarie di 1, 3 e 5 UO/m<sup>3</sup> presso i 66 recettori individuati, per i quali sono stati inoltre evidenziati in rosso i superamenti di 5 OU/m<sup>3</sup> riferite al 98° percentile, i superamenti indicati nelle linee guida della Germania (paragrafo 3.2) e il superamento per più del 2% delle ore in un anno per le concentrazioni di 1, 3 e 5 OU/m<sup>3</sup>. Per la Simulazione 1, osservando il 98° percentile annuale si osserva che utilizzando il modulo specifico degli odori, per 49 recettori è superato il valore di 5 OU/m<sup>3</sup>, mentre utilizzando il modulo classico i superamenti sono stati osservati per 19 recettori; nel caso dei limiti guida della Germania il numero di recettori in cui c’è un superamento è rispettivamente di 22 e 9. Per 22 recettori distanti meno di 2 km dal comparto i valori del 98° percentile della Simulazione 1 risultano maggiori di 10, con marcate differenze fra le due tipologie di simulazione; i due recettori con la massima differenza sono R25 e R36. Analogamente per la Simulazione 2, il 98° percentile annuale è maggiore di 5 OU/m<sup>3</sup> per 19 recettori impostando il modulo odori, solamente per 10 per l’inerte, nel caso dei limiti guida della Germania il numero di recettori in cui c’è un superamento è rispettivamente di 11 e 3. Confrontando i valori del 98° percentile, 11 recettori risultano avere una differenza maggiore di 10, la differenza massima è riscontrata per R36 con una differenza di 199 UO/m<sup>3</sup>. Le concentrazioni massime orarie rilevate in riferimento al modulo degli odori, mostrano sempre dei valori di concentrazione maggiori, anche del 96%, rispetto al metodo classico (R25); stesso discorso vale osservando i 98° percentili, con differenze che raggiungono il 91%. Con l’aumentare della distanza dalle sorgenti le differenze diminuiscono fino a scomparire. Rispetto alla Simulazione 1, quest’ultima presenta una differenza minore tra il modulo odori e il metodo classico.



a)



b)



c)



d)



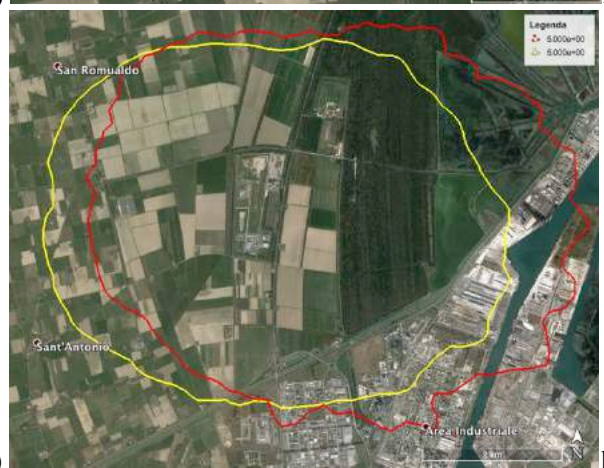
e)



f)



g)



h)

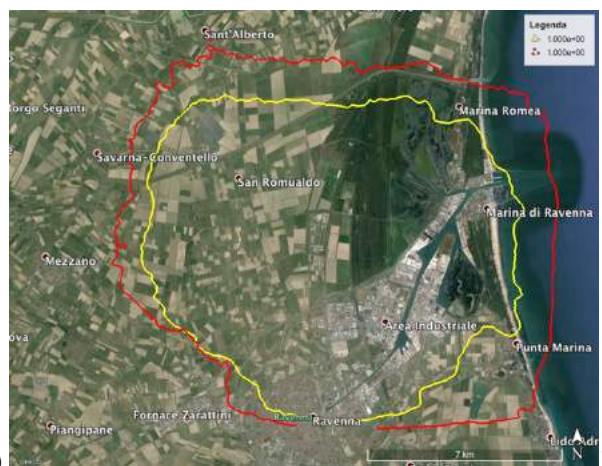


Figura 7.63: Confronto metodo classico e modulo degli odori di LAPMOD, Simulazione 1.



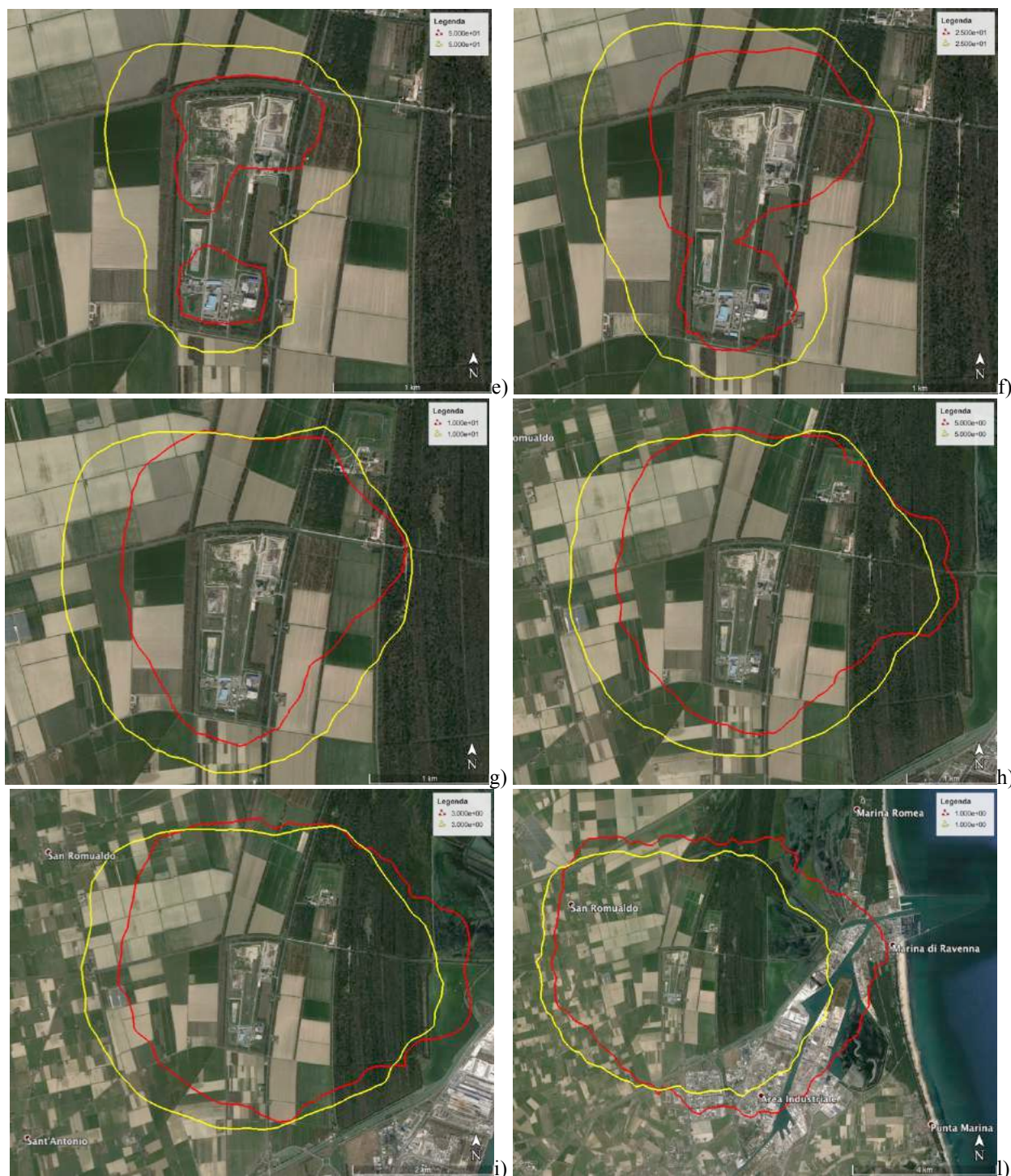


Figura 7.64: Confronto metodo classico e modulo degli odori di LAPMOD, Simulazione 2.

Analizzando più in dettaglio la Simulazione 2 con 23 sorgenti emerge, come presumibile, che i recettori più esposti risultano essere quelli in prossimità dei limiti del comparto. Non si osserva una direzione netta di diffusione, il che probabilmente dipende dalle diverse altezze delle sorgenti e dalla loro localizzazione. Se ci fosse stato solo il contributo delle discariche, si sarebbe potuto osservare una direzione preferenziale di diffusione influenzata dalla loro altezza, attenuata comunque dalla grande superficie emissiva; inoltre i contributi maggiori di concentrazione di odore sono dati dai cumuli la cui altezza massima è inferiore ai 3 metri.

Considerando la Simulazione con il modulo degli odori emerge che i recettori più esposti sono R15, R17, R21, R22, R23, R25, R29, R30, R32, R33, R36, R38, R39, R40, R41, R42, R43, R44, R45 rappresentati da edifici isolati, alcuni dei quali disabitati come R42, altri costituiti da associazioni come R41, un impianto sportivo R40 e principalmente da aziende a destinazione residenziale/agricola, tutti distanti meno di 1 km dalle sorgenti. Di questi R i valori maggiori del 98° percentile si riscontrano per quelli localizzati ad E e N-E del comparto, mentre valori inferiori a 15 UO/m<sup>3</sup> si riscontrano in tutte le direzioni. Presso tutti i restanti recettori considerati (47 su 66), tra cui sono compresi diversi centri abitati e commerciali oltre a recettori costituiti da edifici isolati, i valori di 98° percentile sono inferiori a 5 UO/m<sup>3</sup>. Per i recettori corrispondenti agli agglomerati più popolati (Rec), non si hanno superamenti di 3 UO/m<sup>3</sup> come 98° percentile; i valori di concentrazione massima oraria sono molto contenuti, ad eccezione di 3 recettori i cui valori massimi sono 12, 11 e 10 UO/m<sup>3</sup>, rispettivamente Rec4, Rec17 e Rec10.

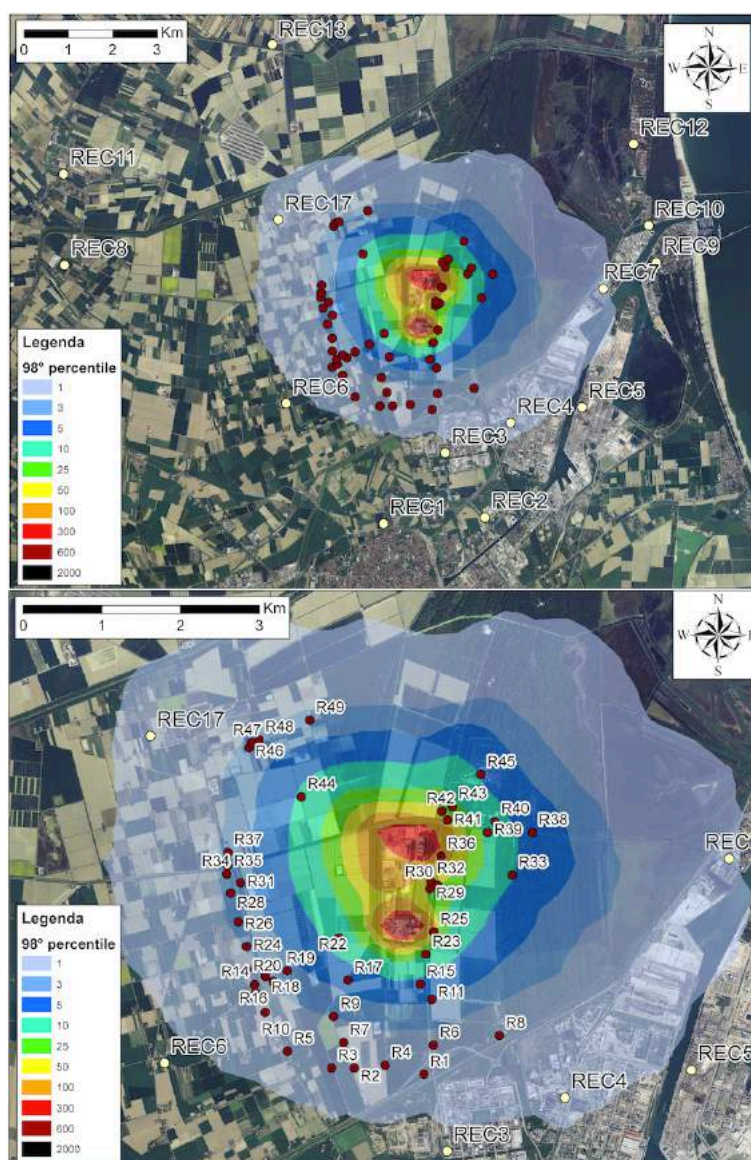


Figura 7.65: Simulazione 2, 23 sorgenti, modulo odori, anno 2014.

Nella Figura 7.66 sono rappresentati i contributi complessivi per ogni ora del giorno del 98°

percentile per gli R e per i Rec; i dati sono riferiti all'intero anno 2014, Simulazione 2. I recettori entro i 2 km dal comparto presentano il maggior contributo emissivo nelle ore diurne (7:00 – 20:00). Questo non dipende dagli orari di apertura/chiusura del comparto, poiché tutte le sorgenti, ad eccezione del biotunnel e del magazzino, emettono anche di notte. I contributi maggiori sono dati dai recettori ad E e N-E del comparto essendo i più vicini; a S e O tra 1 e 1,5 km dal centro del comparto si osservano ancora concentrazioni alte ( $< 40 \text{ OU/m}^3$ ), mentre per distanze maggiori i valori scendono al di sotto di 10. Per i recettori oltre i 2 km si osserva lo stesso tipo di andamento ma molto più uniforme, questo dovuto anche alle concentrazioni decisamente più basse riscontrate per questi recettori.

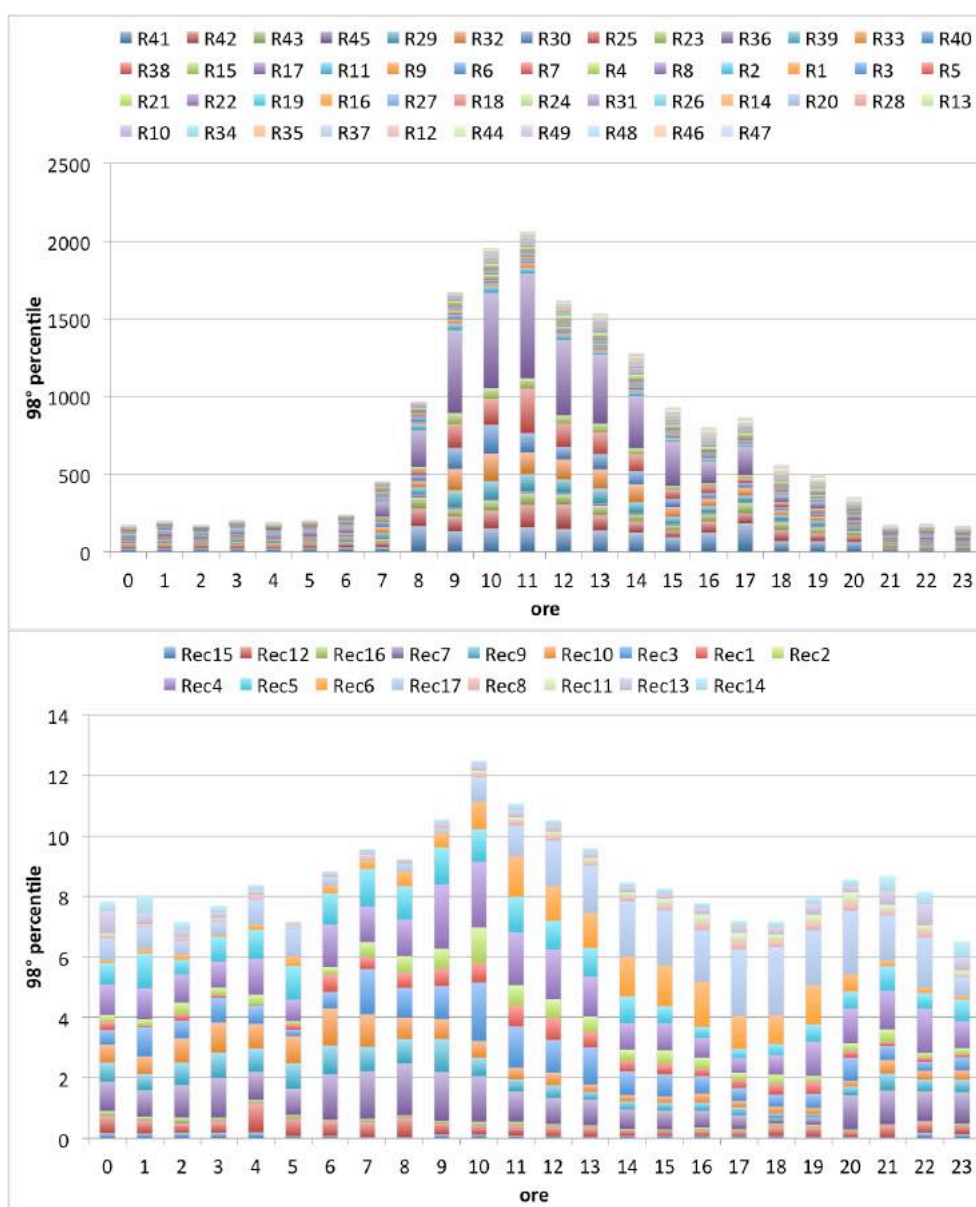


Figura 7.66: 98° percentile orario, Simulazione 2, 23 sorgenti, modulo odori, anno 2014.

Al fine di valutare le variazioni stagionali sono stati elaborati i dati in base alle 4 stagioni (primavera: 01/03 - 30/05, estate: 01/06 - 31/08, autunno: 01/09 - 30/11, inverno: 01/12 - 28/02). Nella Figura 7.67 sono indicati i contributi complessivi per il 98° percentile di ogni ora del

giorno per le quattro stagioni. Gli andamenti rispecchiano quello annuale; in primavera si osservano i valori più alti, i quali crescono molto velocemente fino alle dieci del mattino, per poi calare meno drasticamente; in estate i valori sono più bassi ma distribuiti in modo più omogeneo durante le ore del dì; in autunno c'è un notevole incremento iniziale per poi decrescere lentamente durante la giornata; in inverno i valori sono concentrati in un intervallo orario più ristretto rispetto agli altri mesi per minor durata del dì. In tutte le stagioni la direzione del vento non sembra influire in modo rilevante sulla concentrazione.

Per i recettori sopra i 2 km dal comparto, l'andamento orario stagionale dei 98° percentili, come visto nel caso annuale, è meno variabile durante la giornata e la direzione del vento sembra influire in maniera maggiore sulla concentrazione ai recettori. In Figura 7.68 sono riportati i grafici isometrici, indicanti il contributo orario dei 98° percentili, in cui nelle ascisse sono riportate le ore della giornata e in ordinata i recettori ordinati da N a N-O e la rosa dei venti relativa alla stagione. In tutti i casi si osserva come, in corrispondenza delle direzioni principali del vento, corrispondano i valori più alti presso i recettori localizzati nella stessa direzione.

Le maggiori concentrazioni presenti durante le ore di luce si possono attribuire ai moti convettivi che si generano per il riscaldamento del terreno. Nella maggior parte dei recettori, i valori di concentrazione più alti si rilevano nel periodo estivo e primaverile, quando le condizioni di rimescolamento degli inquinanti sono maggiori.

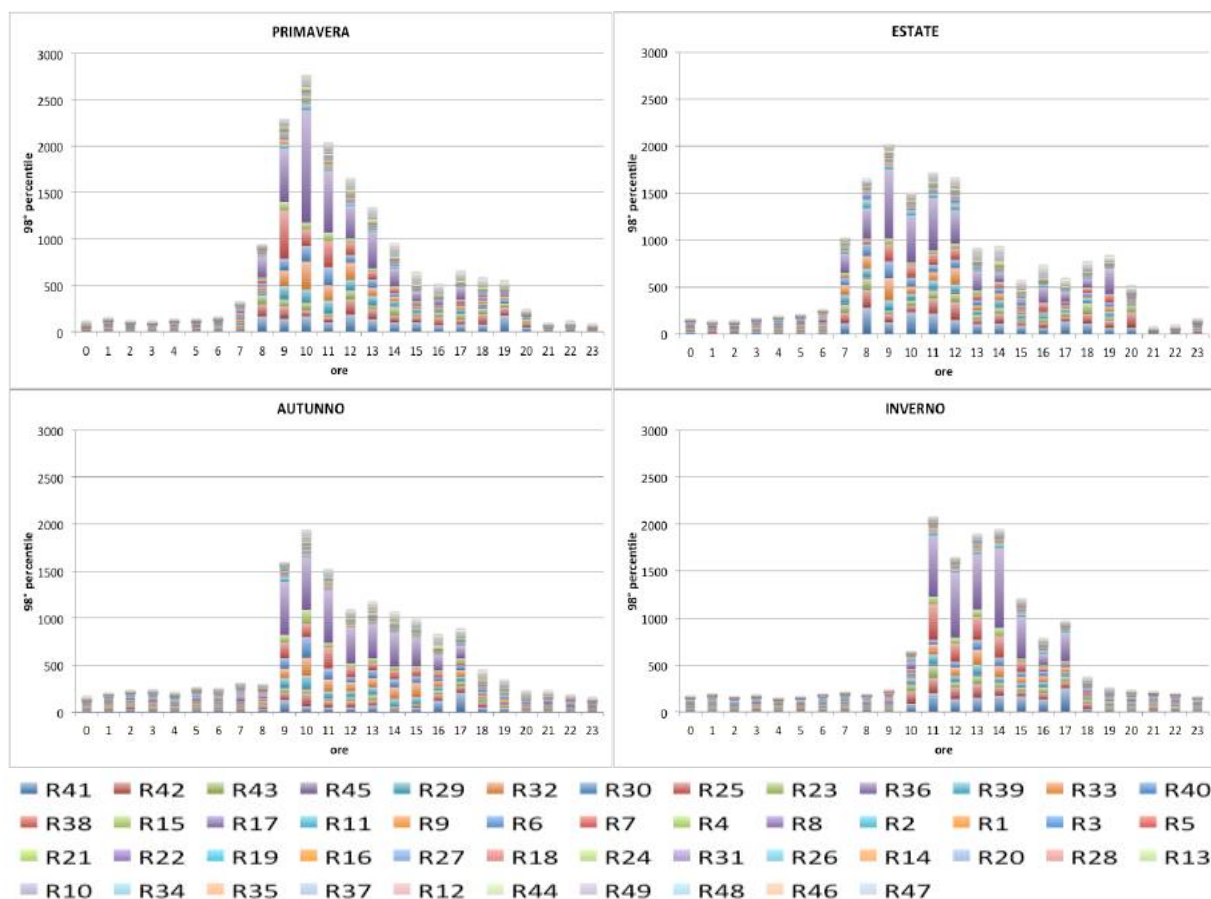


Figura 7.67: 98° percentile orario per le 4 stagioni, Simulazione 2, modulo odori, anno 2014.

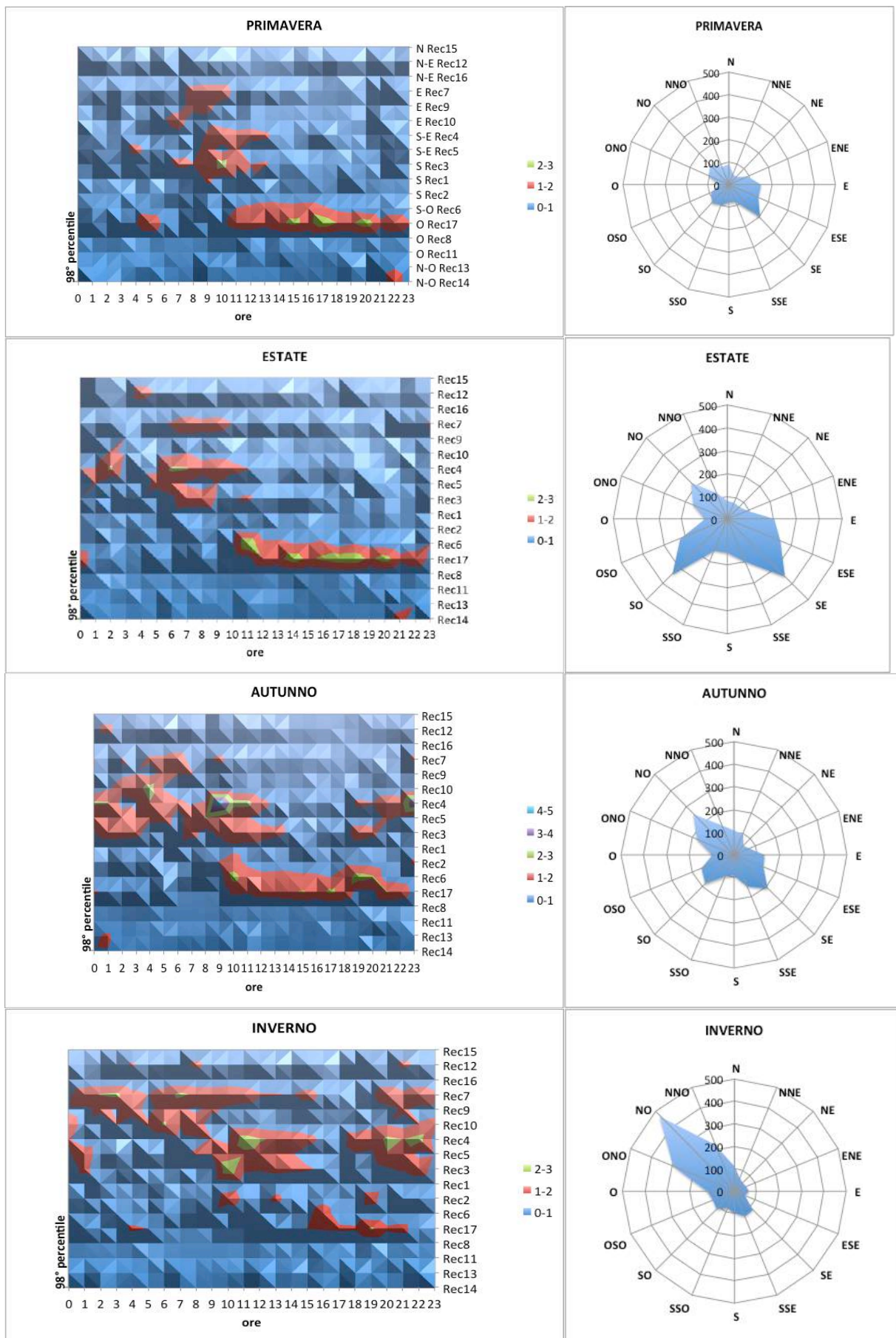


Figura 7.68: Grafici isometrici per le 4 stagioni e relativa rosa dei venti, Simulazione 2, 23 sorgenti, modulo odori, anno 2014.



Osservando, invece, il caso in cui la simulazione è stata eseguita con il “metodo classico” (Figura 7.69), gli orari nei quali si raggiungono i valori massimi come 98° percentile sono concentrati soprattutto di notte o nelle prime ore del mattino, quando prevalgono le condizioni di stabilità. Tale andamento è coerente con la distribuzione oraria delle classi di stabilità riferita al “giorno medio” riportata in Figura 7.31.

Le 2 simulazioni mostrano un diverso andamento nella distribuzione oraria come 98° percentile. Questo, nel caso delle simulazioni con metodo classico, dipende dal fatto che il modello produce come output, per ciascuna ora e ciascun recettore, la media oraria della concentrazione di odore da cui si deduce la concentrazione oraria di picco, che si ottiene dal peak-to-mean ratio di 2,3 nel caso degli odori come proposto dalle LG della Lombardia. Questo comporta che per concentrazioni elevate queste aumentano considerevolmente, mentre concentrazioni piccole non aumentano molto. Nel caso del modulo per gli odori, l’output del modello non è una media oraria, bensì una concentrazione massima stimata nell’arco dell’ora che si può essere verificata anche per un periodo molto breve, ottenuta con un peak-to-mean che cambia in base alla classe di stabilità. In questo senso il modulo degli odori è più efficace nel rilevare la molestia olfattiva che per definizione è legata ad eventi che possono durare anche pochi minuti.

Nell’ALLEGATO 6, per il metodo classico e il modulo degli odori, sono riportate per ciascun recettore, la data e l’ora in cui si è stimata la concentrazione massima oraria più alta rilevata nell’anno di simulazione e alcune delle variabili meteorologiche ad esse relative.

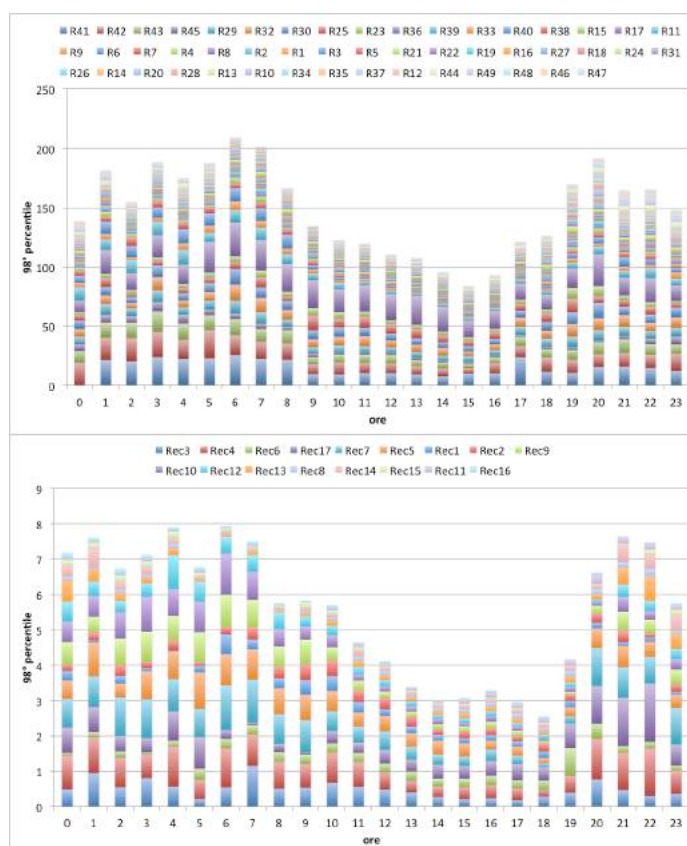


Figura 7.69: 98° percentile orario, Simulazione 2, metodo classico, anno 2014.

## **7.16 CONFRONTO CON ADMS-URBAN**

Il modello di dispersione atmosferica ADMS-Urban (versione 3.2) è un modello gaussiano avanzato in grado di trattare molteplici tipi di sorgenti (puntuali, lineari, areali, volumetriche, di griglia), specificatamente adatto per le simulazioni in area urbana.

Le potenzialità del programma sono:

- un algoritmo di calcolo che si basa sulla soluzione gaussiana in condizioni stabili e neutre e su una soluzione non gaussiana in condizioni instabili;
- una caratterizzazione avanzata dello strato limite basata su parametri fisici come la lunghezza di Monin-Obukhov e l'altezza di rimescolamento. In particolare il modello prevede la possibilità di tenere conto della turbolenza residua dovuta al fenomeno dell'isola di calore urbana, imponendo un valore minimo alla lunghezza di Monin-Obukhov<sup>1</sup> positiva, cioè evitando il verificarsi di condizioni molto stabili, corrispondenti a valori positivi vicini allo zero. Il valore minimo della lunghezza di Monin-Obukhov è stato posto pari a 20 m, valore tipico di domini parzialmente urbani/industriali con città con più di 100000 abitanti situate entro 5 km dal dominio;
- la presenza di un pre-processore meteorologico che calcola i parametri dello strato limite sulla base di diversi tipi di dati meteorologici di input permettendo versatilità nei dati di input;
- la possibilità di trattare una gamma completa di tipi di sorgente che permette di analizzare fino a 1500 sorgenti industriali (puntuali), 1500 lineari e 1 griglia con un massimo di 3000 celle;
- La presenza di un modello integrato specificatamente adatto a simulare la dispersione negli street canyon, ovvero in quelle strade molto diffuse nei centri urbani, confinate da edifici di altezza significativa da entrambi i lati.

Una delle principali limitazioni del modello riguarda la trattazione delle calme di vento, che ADMS-Urban attribuisce a velocità del vento misurate a 10 m di altezza inferiori a 0,75 m/s. Alle ore in cui si verifica questa condizione il modello impone una velocità del vento pari a 0,75 m/s a 10 m (pari a 0,93 m/s a 20 m) e una direzione del vento uguale a quella misurata nell'ultima ora avente condizioni non di calma. Questa semplificazione potrebbe portare ad una sottostima della concentrazione degli inquinanti nei periodi in cui si verifica una prolungata condizione di calma, che favorisce l'accumulo degli inquinanti.

---

<sup>1</sup> La lunghezza di Monin-Obukhov misura l'importanza relativa del galleggiamento generato dal riscaldamento del suolo e del rimescolamento meccanico provocato dall'attrito della superficie del terreno. Da un punto di vista fisico, quando  $L_{mo}$  è positiva, rappresenta lo spessore dello strato limite stabile, all'interno del quale il rimescolamento meccanico è la più importante forma di generazione di turbolenza.

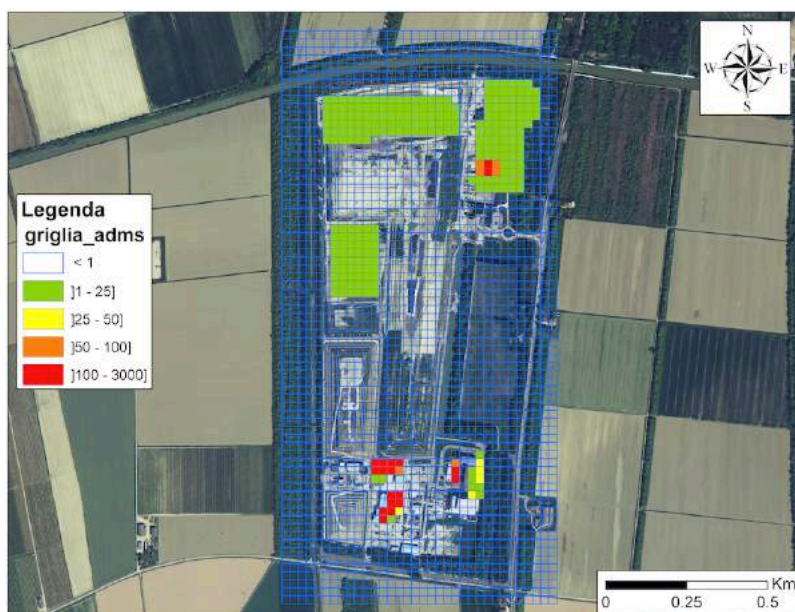
I valori di concentrazione possono essere restituiti con diversi tempi di mediazione secondo il tipo di simulazione prescelta:

Simulazione Short Term, in cui viene restituito un valore di concentrazione per ogni record di dati meteorologici di input, ad esempio tutti i valori orari in un anno;

Simulazione Long Term, in cui viene restituito un unico valore per ogni punto della griglia di output, derivante dall'elaborazione di tutti i dati del file meteorologico in ingresso, ad esempio un valore medio annuale.

Le variabili inserite in input al modello sono:

Sorgenti emissive e loro caratterizzazione: Le 23 sorgenti utilizzate nella simulazione, corrispondenti alle sorgenti di LAPMOD della Simulazione 1 (paragrafo 7.10) senza percolato, sono state aggregate, per poterle gestire con ADMS, in una griglia emissiva composta da 2244 celle di lato 25 m (Figura 7.70). Ad ogni cella è stata associata un'emissione proporzionale all'area ed alla emissione delle sorgente ivi contenute. L'altezza di emissione della griglia è stata posta pari a 6,4 m, calcolata come media pesata delle altezze delle 23 sorgenti considerate rispetto alla loro portata di odore (OER).



**Figura 7.70: Griglia di calcolo per sorgenti di ADMS.**

Variabilità temporale nella portata emissiva delle sorgenti:

Per ciascuna ora dell'anno è stato calcolato il contributo emissivo dato da ogni sorgente. Per ogni mese dell'anno è stata calcolata la media della somma di questi contributi, dai quali sono stati ricavati i fattori percentuali di ciascun mese rispetto al mese con la somma emissiva più alta (maggio). In seguito questi fattori sono stati normalizzati rispetto a 12, ottenendo così i fattori ADMS la cui somma è appunto 12.

**Tabella 7.21: Riassunto valori per definire la variabilità temporale nella portata emissiva delle sorgenti, OER espresso in MOER.**

	GENNAIO	FEBBRAIO	MARZO	APRILE	MAGGIO	GIUGNO	LUGLIO	AGOSTO	SETTEMBRE	OTTOBRE	NOVEMBRE	DICEMBRE
<b>SOMMA</b>	3629547	3588418	4327051	3836533	4393719	4021840	3975007	4031100	3703651	3954167	3556967	4150570
<b>MEDIA</b>	4885	5340	5816	5329	5906	5586	5343	5418	5144	5315	4940	5579
<b>MAX</b>	12143	10829	10143	10721	10428	10543	10707	9734	11789	9344	10668	12760
<b>MIN</b>	1516	1068	1073	1019	1866	1095	1050	1533	1089	1057	1336	1163
<b>FATTORI %</b>	0,8272	0,9042	0,9848	0,9023	1	0,9459	0,9047	0,9175	0,8710	0,9000	0,8365	0,9447
<b>FATTORI ADMS</b>	0,9074	0,9919	1,0804	0,9898	1,0970	1,0376	0,9925	1,0065	0,9555	0,9873	0,9177	1,0363

Condizioni meteorologiche relative al periodo di simulazione:

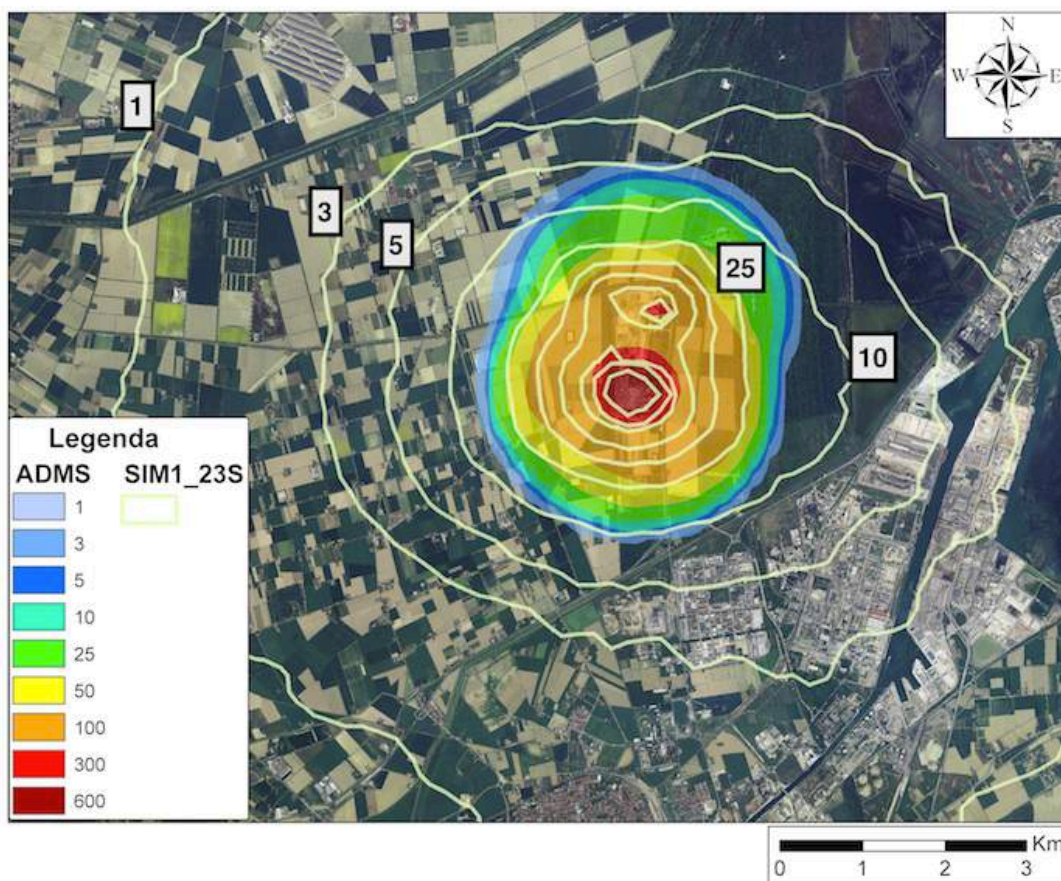
Dati orari di direzione e intensità del vento, temperatura superficiale, umidità relativa e radiazione solare, relativi al centro del comparto ed estratti dal software LAMA gestito dal Servizio Idro-Meteo-Clima (SIMC) di ARPA ad una altezza di 10 m dal suolo.

Output modello:

Il modello restituisce in output valori di concentrazione in aria in corrispondenza dei punti centrali di una griglia, permettendo la realizzazione di mappe di iso-concentrazione degli inquinanti. I valori di concentrazione di odore sono stati moltiplicati per 2,3 come proposto dalle LG della Lombardia (paragrafo 6.1.2). Dalla mappa emerge come, utilizzando questo tipo di modello, le isolinee di concentrazione del 98° percentile delle concentrazioni orarie di picco siano molto più ristrette rispetto a quelle prodotte da LAPMOD.

Le differenze sono senz'altro legate al concorrere di più fattori tra cui i più importanti sono:

- la diversa trattazione delle sorgenti (singole sorgenti areali in LAPMOD, una griglia emissiva per ADMS);
- metodologia di calcolo delle concentrazioni orarie di picco.



**Figura 7.71: Mappa del 98° percentile ottenuta con ADMS corretta con peak-to-mean di 2,3, anno 2014, Simulazione 1; in verde chiaro isolinee relative alla Simulazione 1 con LAPMOD.**

Data la complessità dei fenomeni che governano i processi di inquinamento non esiste un metodo generalmente valido e/o un modello migliore di un altro, ma bisogna utilizzare quello più appropriato in base al tipo di studio che si sta eseguendo.

Per cui, per esempio, se volessimo simulare la dispersione di inquinanti data da sorgenti tipicamente urbane (strade, riscaldamento domestico ecc.) il modello più appropriato sarebbe ADMS, mentre per la simulazione di sorgenti areali e volumetriche e sicuramente per la simulazione di dispersione di sostanze odorogene la scelta ricade indubbiamente su LAPMOD.

## 8 CONCLUSIONI

È stato utilizzato il software LAPMOD per modellizzare la dispersione di sostanze odorigene emesse da un comparto per la gestione integrata dei rifiuti, localizzato a Ravenna, S.S. Romea, Km 2,6, n. 272.

Le concentrazioni di odore ricadenti sul territorio sono rappresentate non come semplici medie annuali, ma come mappe del 98° percentile delle concentrazioni orarie su base annua e, come tali, rappresentano le concentrazioni di picco di odore percepibili da un cittadino per un arco temporale pari al 2% di ore all'anno. Per interpretare meglio i risultati del modello va sottolineato che, per definizione, una "quantità di odore" pari a 1 OU/m<sup>3</sup>, corrisponde ad una concentrazione di odore percepibile solo dal 50 % degli individui ad esso esposti. Quindi, ad esempio, se in un punto si stima che il 98° percentile delle concentrazioni orarie di odore è pari a 1 OU/m<sup>3</sup> (cioè solo il 2% delle ore in un anno, pari a 175 ore, la concentrazioni oraria è superiore a 1 OU/m<sup>3</sup>), significa che la metà degli individui collocati idealmente in quella posizione per un intero anno percepirà l'odore per 175 ore, mentre l'altra metà non percepirà alcun odore.

Uno degli aspetti più critici nell'utilizzo di modelli lagrangiani a particelle quale LAPMOD è rappresentato dal numero di particelle scelte per descrivere le portate in massa delle emissioni. LAPMOD consente di impostare questo parametro in un range che va da 10 a 60 particelle ogni 60 secondi per ciascuna sorgente. All'aumentare del numero di particelle impostate i risultati del modello tendono ad essere più precisi, ma i tempi di calcolo e l'uso di memoria della simulazione aumentano notevolmente. Per questo motivo abbiamo effettuato un confronto fra simulazioni riferite alle medesime condizioni orografiche e meteorologiche utilizzando, però, per descrivere le emissioni odorigene 10, 20 e 30 particelle al minuto. Poiché il raffronto fra le simulazioni ha evidenziato differenze poco significative, si è deciso di utilizzare un rilascio di 10 particelle al minuto, in modo da ridurre i tempi di calcolo e lo spazio occupato sul disco.

Il confronto tra la simulazione 1 (emissioni *dipendenti* dalla variazione della portata di odore in funzione della velocità del vento) e la simulazione 2 (emissioni *indipendenti* dalla variazione della portata di odore in funzione della velocità del vento, assumendo che le paratie laterali e la tettoia mitighino l'effetto del vento al 100%) nei tre mesi del 2015 ha indicato che, probabilmente, non tenere conto dell'effetto di mitigazione delle paratie laterali e delle tettoie dei cumuli di stoccaggio dei fanghi, annullando totalmente l'effetto protettivo sui tassi emissivi, è un'assunzione che porta a sovrastimare l'impatto di queste sorgenti. Anche l'assunzione che

l'effetto del vento sia totalmente mitigato probabilmente porta ad una leggera sottostima, tanto più considerando che l'effetto delle paratie è stato preso in considerazione anche nel calcolo delle reali superfici emissive dei cumuli. Nella realtà, l'effetto del vento sarà solo parzialmente attenuato: quando il vento lambisce il lato "scoperto" del cumulo questo risentirà del suo effetto. Non è stato possibile definire l'entità di questo effetto del vento con i dati in nostro possesso, effetto che comunque è compreso tra i 2 casi limite considerati, con uno scenario molto probabilmente più vicino a quello previsto dalla simulazione 2.

I dati delle due simulazioni sono stati confrontati con le segnalazioni delle sentinelle (cittadini volontari che hanno aderito alla compilazione delle schede relative alla rilevazione di odori dal 1 Luglio al 30 Settembre 2015). Alcune tipologie di odore descritte dalle Sentinelle sono state associate alle sorgenti in studio, in particolare quelle di odore dolciastro, odore acre, discarica, e decomposizione. Dal confronto fra i dati simulati e quelli segnalati riconducibili al comparto si è riscontrato un numero di corrispondenze tra modello e sentinelle di 20, mentre le non corrispondenze sono risultate 6. Bisogna tenere in conto che il numero di sentinelle, e di conseguenza il numero delle segnalazioni, non era numeroso.

L'incrocio dell'output del modello con le segnalazioni porta a ritenere la simulazione 2 come più rappresentativa dell'impatto del comparto sul territorio e indica come il modello di simulazione adottato sia uno strumento molto buono per riprodurre la dispersione spaziale e le concentrazioni di odore.

Dalle simulazioni annuali è emerso che:

- Se si escludono le sorgenti che si riferiscono al percolato (attive solo per periodi limitati di tempo) non si osservano differenze sostanziali tra la simulazione con 23 sorgenti e quella con 81 sorgenti (il 95,7% delle concentrazioni massime orarie sono uguali o differiscono meno di 3 unità), segno evidente che le sorgenti non considerate nel primo caso danno comunque un contributo all'emissione totale poco significativo.
- Le curve di iso-concentrazione di 5 - 3 e 1 OU/m<sup>3</sup> come 98° percentile della simulazione con il metodo classico (peak-to-mean costante uguale a 2,3) e con il modulo specifico per gli odori sono simili per estensione, e si diversificano principalmente lungo l'asse longitudinale (da 200 a 500 m a Ovest; da 200 m a 1500 m a Est). Pertanto differenze più apprezzabili si hanno per i recettori vicini al comparto e collocati ad Ovest che, a seconda del tipo di simulazione, possono risultare o meno interessati dalla molestia olfattiva. A concentrazioni relativamente alte, l'inclusione del modulo odori interessa aree più ampie, mentre a concentrazioni più basse questa tendenza si inverte. Nella simulazione 1 (portata di odore in

funzione della velocità del vento) questa inversione si ha a 25 OU/m<sup>3</sup> (Figura 7.63), mentre nella simulazione 2 (effetto del vento mitigato dalle paratie) l'inversione avviene a 3 OU/m<sup>3</sup> (Figura 7.64).

- Utilizzando il modulo per gli odori, si rilevano i valori di 98° percentile più alti nelle ore centrali della giornata, mentre con il metodo classico, i 98° percentili più alti sono nelle ore notturne. Queste diversità nei risultati è molto pronunciata.
- Come presumibile, i recettori in cui si stimano concentrazioni orarie più elevate sono quelli in prossimità dei limiti del comparto, situati lungo la direzione Est e Ovest. Questi recettori sono rappresentati da edifici isolati, alcuni dei quali disabitati, oppure utilizzati da aziende e destinati a residenza/uso agricolo. Nei 66 recettori considerati (Figura 7.34) i valori di 98° percentile delle concentrazioni orarie risultano inferiori a 5 OU/m<sup>3</sup> in 47 recettori, inferiori a 3 OU/m<sup>3</sup> in 42 e, infine, inferiori a 1 OU/m<sup>3</sup> in 16.

La valutazione fatta può essere considerata, per alcuni aspetti, prudentiale. In particolare, la caratterizzazione delle sorgenti è stata effettuata in una giornata molto calda che ha senza dubbio favorito l'emissione di sostanze odorogene. Conseguentemente i flussi specifici di odore assunti nelle simulazioni modellistiche sull'intero dominio temporale (8760 ore/anno) possono ritenersi cautelativi.

Dalla simulazione con il software ADMS-URBAN l'area interessata dall'impatto odorigeno (98° percentile delle concentrazioni orarie di picco) risulta meno ampia rispetto a quelle stimata con LAPMOD. Questa differente risposta è riconducibile alle specificità del modello ADMS-URBAN, che tratta in modo diverso le sorgenti e ha un algoritmo di calcolo nato prevalentemente per trattare inquinanti gassosi in area urbana (street canyon).

Il progetto in cui è inserito questo lavoro di tesi prevede la continuazione dello studio dell'impatto odorigeno del comparto nell'anno corrente (2016), anno in cui è programmata un'ulteriore compilazione delle schede di segnalazione degli odori da parte dei cittadini, una nuova campagna di campionamento per l'addestramento di un "naso elettronico" da utilizzarsi per il futuro monitoraggio.



## ALLEGATO 1

L'OT, misurato con il "Triangle Odor Bag Method" varia con un range di 2 milioni di volte, da 0,77 ppt (Isoamyl mercaptane) a 1500 ppm (propane) (Nagata e Takeuchi, 1990).

Substance	Odor Threshold (ppm)	Substance	Odor Threshold (ppm)
<i>Formaldehyde</i>	0,5	<i>Hydrogensulfide</i>	0,00041
<i>Acetaldehyde</i>	0,0015	<i>Dimethylsulfide</i>	0,003
<i>Propionaldehyde</i>	0,001	<i>Methylallylsulfide</i>	0,00014
<i>n-Butylaldehyde</i>	0,00067	<i>Diethylsulfide</i>	0,000033
<i>Isobutylaldehyde</i>	0,00035	<i>Allylsulfide</i>	0,00022
<i>n-Valeraldehyde</i>	0,00041	<i>Carbondisulfide</i>	0,21
<i>Isovaleraldehyde</i>	0,0001	<i>Dimethyldisulfide</i>	0,0022
<i>n-Hexylaldehyde</i>	0,00028	<i>Diethyldisulfide</i>	0,002
<i>n-Heptylaldehyde</i>	0,00018	<i>Diallyldisulfide</i>	0,00022
<i>n-Octylaldehyde</i>	0,00001	<i>Methylmercaptane</i>	0,00007
<i>n-Nonylaldehyde</i>	0,00034	<i>Ethylmercaptane</i>	0,0000087
<i>n-Decylaldehyde</i>	0,0004	<i>n-Propylmercaptane</i>	0,000013
<i>Acrolein</i>	0,0036	<i>Isopropylmercaptane</i>	0,000006
<i>Methacrolein</i>	0,0085	<i>n-Butylmercaptane</i>	0,0000028
<i>Crotonaldehyde</i>	0,023	<i>Isobutylmercaptane</i>	0,0000068
<i>Methanol</i>	33	<i>sec. Butylmercaptane</i>	0,00003
<i>Ethanol</i>	0,52	<i>tert. Butylmercaptane</i>	0,000029
<i>n-Propanol</i>	0,094	<i>n-Amylmercaptane</i>	0,00000078
<i>Isopropanol</i>	26	<i>Isoamylmercaptane</i>	0,00000077
<i>n-Butanol</i>	0,038	<i>n-Hexylmercaptane</i>	0,000015
<i>Isobutanol</i>	0,011	<i>Thiophene</i>	0,00056
<i>sec. Butanol</i>	0,22	<i>Tetrahydrothiophene</i>	0,00062
<i>tert. Butanol</i>	4,5	<i>Nitrogen dioxide</i>	0,12
<i>n-Pentanol</i>	0,1	<i>Ammonia</i>	1,5
<i>Isopentanol</i>	0,0017	<i>Methylamine</i>	0,035
<i>sec. Pentanol</i>	0,29	<i>Ethylamine</i>	0,046
<i>tert. Pentanol</i>	0,088	<i>n-Propylamine</i>	0,061
<i>n-Hexanol</i>	0,006	<i>Isopropylamine</i>	0,025
<i>n-Heptanol</i>	0,0048	<i>n-Butylamine</i>	0,17
<i>n-Octanol</i>	0,0027	<i>Isobutylamine</i>	0,0015
<i>Isooctanol</i>	0,0093	<i>sec. Butylamine</i>	0,17
<i>n-Nonanol</i>	0,0009	<i>tert. Butylamine</i>	0,17
<i>n-Decanol</i>	0,00077	<i>Dimethylamine</i>	0,033
<i>2-Ethoxyethanol</i>	0,58	<i>Diethylamine</i>	0,048
<i>2-n-Butoxyethanol</i>	0,043	<i>Trimethylamine</i>	0,000032
<i>1-Butoxy-2-propanol</i>	0,16	<i>Triethylamine</i>	0,0054
<i>Phenol</i>	0,0056	<i>Acetonitrile</i>	13
<i>o-Cresol</i>	0,00028	<i>Acrylonitrile</i>	8,8
<i>m-Cresol</i>	0,0001	<i>Methacrylonitrile</i>	3
<i>p-Cresol</i>	0,000054	<i>Pyridine</i>	0,063
<i>Geosmin</i>	0,0000065	<i>Indole</i>	0,0003
<i>Acetic acid</i>	0,006	<i>Skatole</i>	0,0000056
<i>Propionic acid</i>	0,0057	<i>Ethyl-o-toluidine</i>	0,026
<i>n-Butyric acid</i>	0,00019	<i>Propane</i>	1500
<i>Isobutyric acid</i>	0,0015	<i>n-Butane</i>	1200
<i>n-Valeric acid</i>	0,000037	<i>n-Pentane</i>	1,4
<i>Isovaleric acid</i>	0,000078	<i>Isopentane</i>	1,3
<i>n-Hexanoic acid</i>	0,0006	<i>n-Hexane</i>	1,5
<i>Isohexanoic acid</i>	0,0004	<i>2-Methylpentane</i>	7

<i>Sulfurdioxide</i>	0,87	<i>3-Methylpentane</i>	8,9
<i>Carbonylsulfide</i>	0,055	<i>2,2-Dimethylbutane</i>	20
<i>2,3-Dimethylbutane</i>	0,42	<i>Ethylacetate</i>	0,87
<i>n-Heptane</i>	0,67	<i>n-Propylacetate</i>	0,24
<i>2-Methylhexane</i>	0,42	<i>Isopropylacetate</i>	0,16
<i>3-Methylhexane</i>	0,84	<i>n-Butylacetate</i>	0,016
<i>3-Ethylpentane</i>	0,37	<i>Isobutylacetate</i>	0,008
<i>2,2-Dimethylpentane</i>	38	<i>sec. Butylacetate</i>	0,0024
<i>2,3-Dimethylpentane</i>	4,5	<i>tert. Butylacetate</i>	0,071
<i>2,4-Dimethylpentane</i>	0,94	<i>n-Hexylacetate</i>	0,0018
<i>n-Octane</i>	1,7	<i>Methylpropionate</i>	0,098
<i>2-Methylheptane</i>	0,11	<i>Ethylpropionate</i>	0,007
<i>3-Methylheptane</i>	1,5	<i>n-Propylpropionate</i>	0,058
<i>4-Methylheptane</i>	1,7	<i>Isopropylpropionate</i>	0,0041
<i>2,2,4-Trimethylpentane</i>	0,67	<i>n-Butylpropionate</i>	0,036
<i>n-Nonane</i>	2,2	<i>Isobutylpropionate</i>	0,02
<i>2,2,5-Trimethylhexane</i>	0,9	<i>Methyln-butyrate</i>	0,0071
<i>n-Undecane</i>	0,87	<i>Methylisobutyrate</i>	0,0019
<i>n-Decane</i>	0,62	<i>Ethyln-butyrate</i>	0,00004
<i>n-Dodecane</i>	0,11	<i>Ethylisobutyrate</i>	0,000022
<i>Propylene</i>	13	<i>n-Propyn-butyrate</i>	0,011
<i>1-Butene</i>	0,36	<i>Isopropyln-butyrate</i>	0,0062
<i>Isobutene</i>	10	<i>n-propylisobutyrate</i>	0,002
<i>1-Pentene</i>	0,1	<i>Isopropylisobutyrate</i>	0,035
<i>1-Hexene</i>	0,14	<i>n-Butyln-butyrate</i>	0,0048
<i>1-Heptene</i>	0,37	<i>Isobutyln-butyrate</i>	0,0016
<i>1-Octene</i>	0,001	<i>n-Butylisobutyrate</i>	0,022
<i>1-Nonene</i>	0,00054	<i>Isobutylisobutyrate</i>	0,075
<i>1,3-Butadiene</i>	0,23	<i>Methyln-valerate</i>	0,0022
<i>Isoprene</i>	0,048	<i>Methylisovalerate</i>	0,0022
<i>Benzene</i>	2,7	<i>Ethyln-valerate</i>	0,00011
<i>Toluene</i>	0,33	<i>Ethylisovalerate</i>	0,000013
<i>Styrene</i>	0,035	<i>n-Propyln-valerate</i>	0,0033
<i>Ethylbenzene</i>	0,17	<i>n-Propylisovalerate</i>	0,000056
<i>o-Xylene</i>	0,38	<i>n-Butylisovalerate</i>	0,012
<i>m-Xylene</i>	0,041	<i>Isobutylisovalerate</i>	0,0052
<i>p-Xylene</i>	0,058	<i>Methylacryrate</i>	0,0035
<i>n-Propylbenzene</i>	0,0038	<i>Ethylacryrate</i>	0,00026
<i>Isopropylbenzene</i>	0,0084	<i>n-Butylacryrate</i>	0,00055
<i>1,2,4-Trimethylbenzen</i>	0,12	<i>Isobutylacryrate</i>	0,0009
<i>1,3,5-Trimethylbenzen</i>	0,17	<i>Methylmethacryrate</i>	0,21
<i>o-Ethyltoluene</i>	0,074	<i>2-Ethoxyethylacetate</i>	0,049
<i>m-Ethyltoluene</i>	0,018	<i>Acetone</i>	42
<i>p-Ethyltoluene</i>	0,0083	<i>Methylethylketone</i>	0,44
<i>o-Diethylbenzene</i>	0,0094	<i>Methyln-propylketone</i>	0,028
<i>m-Diethylbenzene</i>	0,07	<i>Methylisopropylketone</i>	0,5
<i>p-Diethylbenzene</i>	0,00039	<i>Methyln-butylketone</i>	0,024
<i>n-Butylbenzene</i>	0,0085	<i>Methylisobutylketone</i>	0,17
<i>1,2,3,4-Tetramethylbenzen</i>	0,011	<i>Methylsec, butylketone</i>	0,024
<i>1,2,3,4-Tetrahydronaphthalene</i>	0,0093	<i>Methyltert, butylketone</i>	0,043
<i>α-Pinene</i>	0,018	<i>Methyln-amylketone</i>	0,0068
<i>β-Pinene</i>	0,033	<i>Methylisoamylketone</i>	0,0021
<i>Limonene</i>	0,038	<i>Diacetyl</i>	0,00005

<i>Methylcyclopentane</i>	1,7	<i>Ozone</i>	0,0032
<i>Cyclohexane</i>	2,5	<i>Furane</i>	9,9
<i>Methylcyclohexane</i>	0,15	<i>2,5-Dihydrofurane</i>	0,093
<i>Methylformate</i>	130	<i>Chlorine</i>	0,049
<i>Ethylformate</i>	2,7	<i>Dichloromethane</i>	160
<i>n-Propylformate</i>	0,96	<i>Chloroform</i>	3,8
<i>Isopropylformate</i>	0,29	<i>Trichloroethylene</i>	3,9
<i>n-Butylformate</i>	0,087	<i>Carbontetrachloride</i>	4,6
<i>Isobutylformate</i>	0,49	<i>Tetrachloroethylene</i>	0,77
<i>Methylacetate</i>	1,7		

# ALLEGATO 2

Caratteristiche sorgenti utilizzate in input nel modello.

NOME	SOURCE TYPE	Z (m)	Sigma Z (m)	UTM zone	Points								area (m <sup>2</sup> )
					1		2		3		4		
					x	y	x	y	x	y	x	y	
BIOTUNNEL	Polygon source	1,9	0,1	32	755071	4929474	755074	4929474	755068	4929426	755064	4929426	192
DISC_4_STRALCIO	Polygon source	18	0,1	32	754701	4930193	754822	4930194	754823	4930006	754706	4930004	22113
DISC_5_GSET	Polygon source	20	0,1	32	754680	4930592	755060	4930611	755069	4930506	754686	4930483	41747
DISC_7SET	Polygon source	18	0,1	32	755183	4930654	755329	4930637	755308	4930535	755172	4930550	14144
DISC_BSET	Polygon source	18	0,1	32	755163	4930533	755286	4930522	755264	4930327	755137	4930343	24130
DISC_COLT	Polygon source	18	0,1	32	755155	4930404	755199	4930400	755196	4930377	755152	4930381	1012
DISC_COPG	Polygon source	18	0,1	32	755152	4930385	755189	4930380	755186	4930354	755149	4930358	999
DST_IN_TOP	Polygon source	3	0,1	32	754859	4929485	754890	4929485	754892	4929463	754861	4929462	713
DST_IN_FRONT	Polygon source	0,5	2,5	32	754860	4929459	754878	4929460	754879	4929454	754861	4929454	90
DST_MAGAZZINO	Polygon source	0,5	4,5	32	754837	4929430	754844	4929431	754844	4929427	754837	4929426	28
DST_OUT_MOV_TOP	Polygon source	3	0,1	32	754899	4929481	754910	4929481	754910	4929458	754900	4929458	230
DST_OUT_MOV_FRONT	Polygon source	0,5	2,5	32	754900	4929460	754910	4929461	754910	4929457	754901	4929457	27
DST_OUT_TOP	Polygon source	3	0,1	32	754828	4929480	754869	4929480	754871	4929460	754829	4929458	924
DST_OUT_FRONT	Polygon source	0,5	2,5	32	754829	4929457	754859	4929458	754859	4929454	754829	4929453	120
DST_OUT_TOP_S	Polygon source	3	0,1	32	754882	4929382	754898	4929381	754892	4929335	754877	4929336	690
DST_OUT_FRONT_S	Polygon source	0,5	2,5	32	754898	4929373	754901	4929372	754899	4929343	754896	4929343	90
IRE_TOP	Polygon source	2,7	0,1	32	755118	4929382	755151	4929378	755150	4929366	755115	4929370	420
IRE_FRONT	Polygon source	0,5	2,2	32	755135	4929385	755145	4929384	755144	4929377	755134	4929379	60
VASCA_FANGHI	Polygon source	1,5	0,1	32	754850	4929337	754870	4929335	754864	4929293	754845	4929295	798
CSS_APE	Polygon source	0,5	9,6	32	755146	4929492	755157	4929490	755154	4929464	755142	4929465	324
CSS_FRONT	Polygon source	0,5	2,5	32	755137	4929419	755147	4929418	755146	4929410	755135	4929412	77
CSS_TOP	Polygon source	2,5	0,1	32	755133	4929449	755156	4929446	755155	4929428	755131	4929432	408
CSS_LAT	Polygon source	0,5	2,5	32	755144	4929470	755154	4929468	755153	4929459	755142	4929460	110
V1200	Polygon source	2	0,1	32	755015	4929394	755017	4929394	755017	4929392	755015	4929392	4
V100	Polygon source	1	0,1	32	754657	4930598	754659	4930598	754659	4930596	754657	4930596	4
V7_8	Polygon source	5	0,1	32	755210	4930292	755210	4930292	755211	4930291	755210	4930291	1
V360	Polygon source	2	0,1	32	755040	4929367	755042	4929367	755042	4929365	755040	4929365	4
A1	Polygon source	1	0,5	32	755077	4930483	755078	4930483	755078	4930482	755077	4930482	1
A2	Polygon source	1	0,5	32	755070	4930380	755071	4930380	755071	4930379	755070	4930379	1
A3	Polygon source	1	0,5	32	755077	4930351	755078	4930351	755078	4930350	755077	4930350	1
A4	Polygon source	1	0,5	32	755078	4930335	755080	4930335	755080	4930334	755079	4930334	1
A5	Polygon source	1	0,5	32	755068	4930250	755069	4930250	755069	4930249	755068	4930249	1
B1	Polygon source	1	0,5	32	755051	4930212	755051	4930212	755052	4930211	755051	4930211	1
B2	Polygon source	1	0,5	32	755052	4930144	755053	4930144	755053	4930143	755052	4930143	1
B3	Polygon source	1	0,5	32	755052	4930109	755053	4930109	755053	4930108	755052	4930108	1
B4	Polygon source	1	0,5	32	755041	4930037	755042	4930037	755042	4930036	755041	4930036	1
B5	Polygon source	1	0,5	32	755038	4929943	755039	4929943	755039	4929942	755038	4929942	1
C1	Polygon source	1	0,5	32	755016	4929852	755017	4929852	755017	4929851	755016	4929851	1
C2	Polygon source	1	0,5	32	755006	4929776	755007	4929776	755007	4929775	755006	4929775	1
C3	Polygon source	1	0,5	32	755007	4929712	755008	4929712	755008	4929711	755007	4929711	1
C4	Polygon source	1	0,5	32	754998	4929619	754999	4929619	754999	4929618	754998	4929618	1
C5	Polygon source	1	0,5	32	754992	4929572	754993	4929572	754993	4929571	754992	4929571	1
C6	Polygon source	1	0,5	32	754865	4929850	754866	4929850	754866	4929849	754865	4929849	1
C7	Polygon source	1	0,5	32	754863	4929804	754864	4929804	754864	4929803	754863	4929803	1
C8	Polygon source	1	0,5	32	754853	4929654	754854	4929654	754854	4929653	754853	4929653	1
C9	Polygon source	1	0,5	32	754851	4929604	754852	4929604	754852	4929603	754851	4929603	1
C10	Polygon source	1	0,5	32	754848	4929554	754849	4929554	754849	4929553	754848	4929553	1
E	Polygon source	1	0,5	32	754675	4930273	754677	4930273	754677	4930272	754676	4930272	1
F	Polygon source	1	0,5	32	754675	4930333	754676	4930333	754676	4930332	754675	4930332	1
G	Polygon source	1	0,5	32	754673	4930390	754674	4930390	754674	4930389	754673	4930389	1
H	Polygon source	1	0,5	32	754675	4930416	754676	4930416	754676	4930415	754675	4930415	1
I	Polygon source	1	0,5	32	754726	4930607	754727	4930607	754727	4930606	754726	4930606	1
L	Polygon source	1	0,5	32	754831	4930625	754832	4930625	754832	4930624	754831	4930624	1
M	Polygon source	1	0,5	32	754933	4930633	754934	4930633	754934	4930632	754933	4930632	1
N	Polygon source	1	0,5	32	755036	4930639	755037	4930639	755037	4930638	755036	4930638	1
O	Polygon source	1	0,5	32	755205	4930652	755206	4930652	755206	4930651	755205	4930651	1
P	Polygon source	1	0,5	32	755237	4930648	755238	4930648	755238	4930647	755237	4930647	1
Q	Polygon source	1	0,5	32	755271	4930643	755272	4930643	755272	4930642	755271	4930642	1
R	Polygon source	1	0,5	32	755303	4930639	755304	4930639	755304	4930638	755303	4930638	1
S	Polygon source	1	0,5	32	755286	4930521	755287	4930521	755287	4930520	755286	4930520	1
T	Polygon source	1	0,5	32	755285	4930457	755286	4930457	755286	4930456	755285	4930456	1
U	Polygon source	1	0,5	32	755191	4930539	755192	4930539	755192	4930538	755191	4930538	1
V	Polygon source	1	0,5	32	755163	4930476	755164	4930476	755164	4930475	755163	4930475	1
Z	Polygon source	1	0,5	32	755282	4930406	755283	4930406	755283	4930405	755282	4930405	1
X	Polygon source	1	0,5	32	755271	4930342	755272	4930342	755272	4930341	755271	4930341	1
Y	Polygon source	1	0,5	32	755153	4930374	755154	4930374	755154	4930373	755153	4930373	1
W	Polygon source	1	0,5	32	755156	4930414	755157	4930414	755157	4930413	755156	4930413	1
H1	Polygon source	1	0,5	32	754695	4929874	754696	4929874	754696	4929873	754695	4929873	1
H2	Polygon source	1	0,5	32	754724	4929875	754725	4929875	754725	4929874	754724	4929874	1
H3	Polygon source	1	0,5	32	754749	4929874	754750	4929874	754750	4929873	754749	4929873	1
H4	Polygon source	1	0,5	32	754777	4929876	754778	4929876	754778	4929875	754777	4929875	1
H5	Polygon source	1	0,5	32	754803	4929875	754804	4929875	754804	4929874	754803	4929874	1
H6	Polygon source	1	0,5	32	754819	4929875	754820	4929875	754820	4929874	754819	4929874	1
EXS1	Polygon source	1	0,5	32	754670	4929438	754671	4929438	754671	4929437	754670	4929437	1
EXS2	Polygon source	1	0,5	32	754670	4929437	754671	4929437	754671	4929436	754670	4929436	1
EXS3	Polygon source	1	0,5	32	754670	4929432	754671	4929432	754671	4929431	754670	4929431	1
EXS4	Polygon source	1	0,5	32	754670	4929430	754671	4929430	754671	4929429	754670	4929429	1
EXS5	Polygon source	1	0,5	32	754662	4929438	754662	4929438	754662	4929437	754661	4929437	1
EXS6	Polygon source	1	0,5	32	754662	4929437	754663	4929437	754663	4929436	754662	4929436	1
EXS7	Polygon source	1	0,5	32	754661	4929432	754662	4929432	754662	4929431	754661	4929431	1
EXS8	Polygon source	1	0,5	32	754662	4929431	754662	4929431	754662	4929430	754661	4929430	1

# ALLEGATO 3

Distanza da un punto all'interno del comparto WGS84 UTM32N X: 754,945 km Y: 4929,873 km		2.3 km		2.4 km		3.3 km		3.4 km		3.7 km		4.8 km		8.2 km		9.7 km		
parametri	totale 20P	totale 30P	AN11_20P	AN11_30P	AN12_20P	AN12_30P	ROM3_20P	ROM3_30P	ROM5_20P	ROM5_30P	ROM2_20P	ROM2_30P	AN13_20P	AN13_30P	ALBI_20P	ALBI_30P	SAVI_20P	SAVI_30P
* n° numeri	436	436	99	99	71	71	88	88	75	75	72	72	24	24	6	6	1	1
# n° celle vuote	5516	5516	645	645	673	673	656	656	669	669	672	672	720	720	738	738	743	743
0.5 > n° < 1.5	368	370	87	85	64	64	69	72	60	69	60	53	22	21	5	5	1	1
n° > 0.5 V n° < 1.5	84%	85%	88%	86%	90%	90%	78%	82%	80%	92%	83%	74%	92%	88%	83%	83%	100%	100%
n° ≤ 0.5 V n° ≥ 1.5	16%	15%	12%	14%	10%	10%	22%	18%	20%	8%	17%	26%	8%	13%	17%	17%	0%	0%
0.8 > n° < 1.2	335	340	76	72	55	56	66	70	54	65	56	50	22	21	5	5	1	1
n° > 0.8 V n° < 1.2	77%	78%	77%	73%	77%	79%	75%	80%	72%	87%	78%	69%	92%	88%	83%	83%	100%	100%
n° ≤ 0.8 V n° ≥ 1.2	101	96	23	27	16	15	22	18	21	10	16	22	2	3	1	1	0	0
%n° ≤ 0.8 V %n° ≥ 1.2	23%	22%	23%	27%	23%	21%	25%	20%	28%	13%	22%	31%	8%	13%	17%	17%	0%	0%
* significa che il modello ha stimato una concentrazione; # significa che il modello non ha stimato una concentrazione, tale valore non è stato considerato nel calcolo delle percentuali																		
n° > 3 OU/m3	28	28	13	15	6	5	2	2	5	4	2	2	0	0	0	0	0	0
%n° > 3 OU/m3	6%	6%	13%	15%	8%	7%	2%	2%	7%	5%	3%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
n° > 2 V ≤ 3 OU/m3	31	29	12	11	6	6	5	2	5	6	2	3	1	1	0	0	0	0
%n° > 2 V ≤ 3 OU/m3	7%	7%	12%	11%	8%	8%	6%	2%	7%	8%	3%	4%	4%	4%	0%	0%	0%	0%
n° ≤ 2 OU/m3	377	379	74	73	59	60	81	84	65	65	68	67	23	23	6	6	1	1
%n° ≤ 2 OU/m3	86%	87%	75%	74%	83%	85%	92%	95%	87%	87%	94%	93%	96%	96%	100%	100%	100%	100%
n° > 3 OU/m3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
%n° > 3 OU/m3	0%	2%	0%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	#DIV/0!	#DIV/0!
n° > 2 V ≤ 3 OU/m3	9	6	0	2	1	0	5	1	1	0	1	2	1	1	0	0	0	0
%n° > 2 V ≤ 3 OU/m3	13%	9%	0%	14%	14%	0%	26%	6%	7%	0%	8%	11%	50%	33%	0%	0%	#DIV/0!	#DIV/0!
n° ≤ 2 OU/m3	59	59	12	11	6	7	14	15	14	6	11	17	1	2	1	1	0	0
%n° ≤ 2 OU/m3	87%	89%	100%	79%	86%	100%	74%	94%	93%	100%	92%	89%	50%	67%	100%	100%	#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0! Significa che il denominatore è 0 (prima tabella), cioè che nella condizione a cui si riferisce il modello non ha mai stimato una concentrazione																		
n° > 3 OU/m3	16	15	5	6	5	4	2	2	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0
%n° > 3 OU/m3	16%	16%	22%	22%	31%	27%	9%	11%	14%	30%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	#DIV/0!	#DIV/0!
n° > 2 V ≤ 3 OU/m3	13	9	2	3	2	1	5	1	1	0	2	3	1	1	0	0	0	0
%n° > 2 V ≤ 3 OU/m3	13%	9%	9%	11%	13%	7%	23%	6%	5%	0%	13%	14%	50%	33%	0%	0%	#DIV/0!	#DIV/0!
n° ≤ 2 OU/m3	70	69	15	16	9	10	15	15	16	7	13	18	1	2	1	1	0	0
%n° ≤ 2 OU/m3	69%	72%	65%	59%	56%	67%	68%	83%	76%	70%	81%	82%	50%	67%	100%	100%	#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0! Significa che il denominatore è 0 (prima tabella), cioè che nella condizione a cui si riferisce il modello non ha mai stimato una concentrazione																		

il totale 20P e 30P si riferisce alla somma dei valori presenti in corrispondenza di ciascuna sentinella

1) valori ottenuti tenendo conto di tutti i valori risultanti dal rapporto rispetto alle 10P

2) valori ottenuti tenendo conto di tutti i valori risultanti dal rapporto rispetto alle 10P che sono ≥ 1+0.5 V ≤ 1-0.5

3) valori ottenuti tenendo conto di tutti i valori risultanti dal rapporto rispetto alle 10P che sono ≥ 1+0.2 V ≤ 1-0.2

## ALLEGATO 4

In rosso sono evidenziati i valori diversi confrontando i dati ottenuti per le 23 e 81 sorgenti  
(Simulazione 1, anno 2014).

RECETTORI	conc. max oraria (OU/m3)		98° percentile conc. max oraria (OU/m3)		n. ore in cui viene superata la con. oraria di 1 UO/m3				n. ore in cui viene superata la con. oraria di 3 UO/m3				n. ore in cui viene superata la con. oraria di 5 UO/m3			
	23_S	81_S	23_S	81_S	23_S		81_S		23_S		81_S		23_S		81_S	
					numero	%	numero	%	numero	%	numero	%	numero	%	numero	%
Rec1	26	28	1	1	264	3%	261	3%	59	1%	58	1%	23	0%	22	0%
Rec2	23	21	2	2	345	4%	356	4%	106	1%	104	1%	45	1%	41	0%
Rec3	72	73	4	4	554	6%	565	6%	258	3%	254	3%	142	2%	141	2%
Rec4	154	212	5	5	696	8%	678	8%	326	4%	326	4%	188	2%	188	2%
Rec5	62	61	4	4	534	6%	533	6%	214	2%	208	2%	116	1%	117	1%
Rec6	56	63	3	3	538	6%	546	6%	211	2%	217	2%	99	1%	97	1%
Rec7	28	32	3	3	535	6%	541	6%	195	2%	196	2%	117	1%	115	1%
Rec8	5	5	0	0	62	1%	67	1%	6	0%	6	0%	0	0%	1	0%
Rec9	16	17	2	2	357	4%	345	4%	95	1%	98	1%	42	0%	42	0%
Rec10	15	15	2	2	279	3%	285	3%	66	1%	68	1%	28	0%	26	0%
Rec11	3	3	1	1	45	1%	41	0%	1	0%	1	0%	0	0%	0	0%
Rec12	10	10	1	1	223	3%	222	3%	42	0%	43	0%	14	0%	14	0%
Rec13	15	20	1	1	93	1%	88	1%	17	0%	18	0%	5	0%	6	0%
Rec14	6	5	1	1	96	1%	92	1%	18	0%	21	0%	5	0%	1	0%
Rec15	6	5	0	0	46	1%	41	0%	7	0%	9	0%	1	0%	1	0%
Rec16	3	3	0	0	26	0%	27	0%	3	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Rec17	54	52	3	3	712	8%	709	8%	210	2%	206	2%	78	1%	74	1%
R1	69	69	8	7	683	8%	680	8%	410	5%	411	5%	274	3%	276	3%
R2	207	132	8	8	708	8%	698	8%	418	5%	428	5%	277	3%	278	3%
R3	118	86	7	7	731	8%	729	8%	405	5%	398	5%	256	3%	255	3%
R4	128	107	9	9	699	8%	689	8%	447	5%	447	5%	317	4%	322	4%
R5	54	64	7	7	741	8%	741	8%	406	5%	411	5%	262	3%	256	3%
R6	106	100	12	12	798	9%	806	9%	539	6%	544	6%	403	5%	413	5%
R7	108	141	10	10	852	10%	845	10%	547	6%	527	6%	371	4%	374	4%
R8	96	111	10	10	848	10%	837	10%	498	6%	484	6%	346	4%	341	4%
R9	174	186	17	16	992	11%	1003	11%	669	8%	675	8%	515	6%	515	6%
R10	99	92	9	9	894	10%	903	10%	526	6%	526	6%	337	4%	329	4%
R11	544	351	34	34	1108	13%	1103	13%	819	9%	821	9%	678	8%	673	8%
R12	66	66	9	9	931	11%	945	11%	524	6%	524	6%	339	4%	341	4%
R13	81	92	11	11	978	11%	1007	11%	601	7%	592	7%	397	5%	395	5%
R14	90	89	11	11	1037	12%	1030	12%	628	7%	635	7%	431	5%	414	5%
R15	562	517	62	61	1277	15%	1285	15%	979	11%	982	11%	828	9%	829	9%
R16	108	132	15	15	1135	13%	1138	13%	732	8%	743	8%	534	6%	505	6%
R17	769	618	48	50	1384	16%	1405	16%	1052	12%	1054	12%	869	10%	889	10%
R18	92	89	14	14	1128	13%	1142	13%	710	8%	724	8%	495	6%	510	6%
R19	227	225	21	21	1283	15%	1266	14%	893	10%	879	10%	664	8%	652	7%
R20	108	185	11	11	1058	12%	1053	12%	642	7%	642	7%	429	5%	435	5%
R21	1642	1620	127	128	2017	23%	2010	23%	1637	19%	1646	19%	1436	16%	1459	17%
R22	340	597	41	41	1537	18%	1539	18%	1146	13%	1144	13%	945	11%	949	11%
R23	4894	4403	225	246	1972	23%	1940	22%	1601	18%	1596	18%	1411	16%	1408	16%
R24	71	94	12	12	1167	13%	1165	13%	740	8%	757	9%	502	6%	519	6%
R25	3870	5115	366	356	2668	30%	2677	31%	2082	24%	2094	24%	1807	21%	1814	21%
R26	297	195	12	12	1234	14%	1225	14%	776	9%	771	9%	523	6%	503	6%
R27	96	108	14	14	1349	15%	1350	15%	905	10%	889	10%	626	7%	624	7%
R28	71	88	10	10	1249	14%	1252	14%	793	9%	781	9%	488	6%	488	6%
R29	1575	1699	132	123	2999	34%	3017	34%	2306	26%	2293	26%	1951	22%	1938	22%
R30	663	601	115	109	2830	32%	2821	32%	2173	25%	2176	25%	1844	21%	1852	21%
R31	134	137	12	12	1343	15%	1320	15%	869	10%	878	10%	575	7%	569	6%
R32	1572	836	117	116	3050	35%	3063	35%	2343	27%	2303	26%	1974	23%	1954	22%
R33	373	415	23	22	1590	18%	1579	18%	1061	12%	1070	12%	799	9%	806	9%
R34	99	124	10	9	1218	14%	1223	14%	752	9%	753	9%	485	6%	467	5%
R35	86	99	10	10	1238	14%	1247	14%	778	9%	778	9%	502	6%	489	6%
R36	2242	3833	227	230	3086	35%	3058	35%	2467	28%	2468	28%	2139	24%	2120	24%
R37	65	70	10	10	1222	14%	1215	14%	750	9%	743	8%	474	5%	464	5%
R38	561	474	14	14	1233	14%	1248	14%	757	9%	761	9%	565	6%	548	6%
R39	165	231	30	31	1644	19%	1639	19%	1166	13%	1146	13%	925	11%	911	10%
R40	259	279	21	22	1455	17%	1416	16%	969	11%	978	11%	780	9%	776	9%
R41	1098	767	91	93	1943	22%	1941	22%	1468	17%	1472	17%	1247	14%	1232	14%
R42	662	857	69	71	1776	20%	1760	20%	1334	15%	1304	15%	1098	13%	1098	13%
R43	766	692	45	45	1601	18%	1596	18%	1144	13%	1136	13%	935	11%	909	10%
R44	96	99	15	15	1449	17%	1472	17%	1030	12%	1020	12%	794	9%	782	9%
R45	190	219	15	15	998	11%	987	11%	618	7%	620	7%	463	5%	467	5%
R46	75	92	6	6	980	11%	992	11%	488	6%	492	6%	228	3%	235	3%
R47	183	155	6	6	970	11%	981	11%	457	5%	467	5%	215	2%	224	3%
R48	62	62	6	6	950	11%	964	11%	456	5%	461	5%	218	2%	231	3%
R49	64	63	6	6	854	10%	842	10%	376	4%	393	4%	217	2%	217	2%

# ALLEGATO 5

Simulazione 1; evidenziati in rosso i superamenti di 5 OU/m<sup>3</sup> come 98° percentile, i superamenti di 3 OU/m<sup>3</sup> come 90° e 85° percentile e il superamento per più del 2% delle ore in un anno per le concentrazioni di 1, 3 e 5 OU/m<sup>3</sup>.

RECETTORI	conc. max oraria (OU/m <sup>3</sup> )		98° percentile conc. max oraria (OU/m <sup>3</sup> )		90° percentile conc. max oraria (OU/m <sup>3</sup> ) *		85° percentile conc. max oraria (OU/m <sup>3</sup> ) *		n. ore in cui viene superata la con. oraria di 1 OU/m <sup>3</sup>				n. ore in cui viene superata la con. oraria di 3 OU/m <sup>3</sup>				n. ore in cui viene superata la con. oraria di 5 OU/m <sup>3</sup>			
	mod. OD		Inerte		mod. OD		Inerte		mod. OD		Inerte		mod. OD		Inerte		mod. OD		Inerte	
	numero	%	numero	%	numero	%	numero	%	numero	%	numero	%	numero	%	numero	%	numero	%	numero	%
Rec1	26	11	1	1	0	0	0	0	264	3%	140	2%	59	1%	25	0%	23	0%	10	0%
Rec2	23	23	2	1	0	0	0	0	345	4%	205	2%	106	1%	54	1%	45	1%	22	0%
Rec3	72	48	4	2	0	0	0	0	554	6%	352	4%	258	3%	111	1%	142	2%	62	1%
Rec4	154	53	5	3	1	0	0	0	696	8%	451	5%	326	4%	158	2%	188	2%	80	1%
Rec5	62	35	4	2	0	0	0	0	534	6%	375	4%	214	2%	125	1%	116	1%	67	1%
Rec6	56	26	3	1	0	0	0	0	538	6%	193	2%	211	2%	49	1%	99	1%	20	0%
Rec7	28	24	3	2	0	0	0	0	535	6%	415	5%	195	2%	146	2%	117	1%	77	1%
Rec8	5	5	0	0	0	0	0	0	62	1%	35	0%	6	0%	5	0%	0	0%	0	0%
Rec9	16	16	2	2	0	0	0	0	357	4%	292	3%	95	1%	75	1%	42	0%	36	0%
Rec10	15	15	2	1	0	0	0	0	279	3%	222	3%	66	1%	55	1%	28	0%	21	0%
Rec11	3	3	1	0	0	0	0	0	45	1%	21	0%	1	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Rec12	10	10	1	1	0	0	0	0	223	3%	167	2%	42	0%	36	0%	14	0%	12	0%
Rec13	15	8	1	0	0	0	0	0	93	1%	66	1%	17	0%	15	0%	5	0%	5	0%
Rec14	6	5	1	0	0	0	0	0	96	1%	79	1%	18	0%	16	0%	5	0%	3	0%
Rec15	6	6	0	0	0	0	0	0	46	1%	39	0%	7	0%	6	0%	1	0%	1	0%
Rec16	3	3	0	0	0	0	0	0	26	0%	25	0%	3	0%	3	0%	0	0%	0	0%
Rec17	54	54	3	1	1	0	0	0	712	8%	241	3%	210	2%	50	1%	78	1%	26	0%
R1	69	45	8	3	0	0	0	0	683	8%	446	5%	410	5%	174	2%	274	3%	102	1%
R2	207	67	8	2	0	0	0	0	708	8%	410	5%	418	5%	137	2%	277	3%	79	1%
R3	118	32	7	2	1	0	0	0	731	8%	385	4%	405	5%	115	1%	256	3%	53	1%
R4	128	80	9	3	0	0	0	0	699	8%	428	5%	447	5%	179	2%	317	4%	98	1%
R5	54	32	7	2	1	0	0	0	741	8%	337	4%	406	5%	91	1%	262	3%	49	1%
R6	106	94	12	5	1	0	0	0	798	9%	531	6%	539	6%	260	3%	403	5%	163	2%
R7	108	47	10	3	1	0	0	0	852	10%	489	6%	547	6%	171	2%	371	4%	82	1%
R8	96	96	10	4	1	0	0	0	848	10%	544	6%	498	6%	216	2%	346	4%	115	1%
R9	174	54	17	3	2	0	0	0	992	11%	571	7%	669	8%	201	2%	515	6%	112	1%
R10	99	40	9	2	1	0	0	0	894	10%	422	5%	526	6%	105	1%	337	4%	52	1%
R11	544	155	34	8	2	1	0	0	1108	13%	767	9%	819	9%	437	5%	678	8%	290	3%
R12	66	29	9	2	1	0	0	0	931	11%	432	5%	524	6%	111	1%	339	4%	62	1%
R13	81	34	11	2	1	0	0	0	978	11%	472	5%	601	7%	133	2%	397	5%	73	1%
R14	90	33	11	3	2	0	0	0	1037	12%	513	6%	628	7%	139	2%	431	5%	70	1%
R15	562	241	62	12	4	1	1	0	1277	15%	911	10%	979	11%	578	7%	828	9%	400	5%
R16	108	53	15	3	2	1	1	0	1135	13%	632	7%	732	8%	184	2%	534	6%	96	1%
R17	769	119	48	7	5	1	1	0	1384	16%	935	11%	1052	12%	441	5%	869	10%	260	3%
R18	92	50	14	3	2	1	1	0	1128	13%	592	7%	710	8%	162	2%	495	6%	90	1%
R19	227	61	21	4	3	1	1	0	1283	15%	757	9%	893	10%	247	3%	664	8%	116	1%
R20	108	47	11	2	2	0	0	0	1058	12%	521	6%	642	7%	130	1%	429	5%	69	1%
R21	1642	198	127	13	18	3	7	1	2017	23%	1500	17%	1637	19%	883	10%	1436	16%	558	6%
R22	340	92	41	6	6	1	2	1	1537	18%	1007	11%	1146	13%	419	5%	945	11%	210	2%
R23	4894	475	225	31	20	5	6	2	1972	23%	1563	18%	1601	18%	1100	13%	1411	16%	860	10%
R24	71	54	12	3	2	1	1	0	1167	13%	580	7%	740	8%	147	2%	502	6%	74	1%
R25	3870	498	366	38	28	8	11	4	2668	30%	2225	25%	2082	24%	1494	17%	1807	21%	1196	14%
R26	297	108	12	3	2	1	1	0	1234	14%	612	7%	776	9%	141	2%	523	6%	84	1%
R27	96	63	14	3	3	1	1	0	1349	15%	686	8%	905	10%	166	2%	626	7%	84	1%
R28	71	67	10	2	3	1	1	0	1249	14%	567	6%	793	9%	136	2%	488	6%	67	1%
R29	1575	340	132	22	22	5	12	3	2999	34%	2354	27%	2306	26%	1213	14%	1951	22%	826	9%
R30	663	271	115	18	20	4	11	2	2830	32%	2173	25%	2173	25%	1149	13%	1844	21%	759	9%
R31	134	116	12	3	3	1	1	0	1343	15%	655	7%	869	10%	152	2%	575	7%	73	1%
R32	1572	236	117	19	23	5	12	3	3050	35%	2384	27%	2343	27%	1251	14%	1974	23%	804	9%
R33	373	144	23	8	4	1	2	1	1590	18%	1116	13%	1061	12%	465	5%	799	9%	282	3%
R34	99	68	10	2	2	1	1	0	1218	14%	541	6%	752	9%	134	2%	485	6%	75	1%
R35	86	61	10	2	3	1	1	0	1238	14%	574	7%	778	9%	143	2%	502	6%	75	1%
R36	2242	151	227	25	34	7	16	5	3086	35%	2619	30%	2467	28%	1681	19%	2139	24%	1224	14%
R37	65	65	10	2	2	1	1	0	1222	14%	553	6%	750	9%	135	2%	474	5%	88	1%
R38	561	82	14	7	2	1	1	0	1233	14%	838	10%	757	9%	351	4%	565	6%	230	3%
R39	165	112	30	11	6	2	2	1	1644	19%	1240	14%	1166	13%	604	7%	925	11%	382	4%
R40	259	90	21	10	4	1	1	1	1455	17%	1079	12%	969	11%	496	6%	780	9%	315	4%
R41	1098	138	91	21	12	4	4	2	1943	22%	1554	18%	1468	17%	1002	11%	1247	14%	756	9%
R42	662	151	69	17	8	3	3	1	1776	20%	1395	16%	1334	15%	889	10%	1098	13%	645	7%
R43	766	113	45	13	6	2	2	1	1601	18%	1254	14%	1144	13%	731	8%	935	11%	504	6%
R44	96	94	15	4	4	1	1	1	1449	17%	917	10%	1030	12%	244	3%	794	9%	144	2%
R45	190	84	15	6	1	1	0	0	998	11%	697	8%	618	7%	292	3%	463	5%	204	2%
R46	75	49	6	2	1	0	0	0	980	11%	420	5%	488	6%	121	1%	228	3%	64	1%
R47	183	72	6	2	1	0	0	0	970	11%	418	5%	457	5%	110	1%	215	2%	58	1%
R48	62	62	6	2	1	0	0	0	950	11%	409	5%	456	5%	118	1%	218	2%	60	1%
R49	64	64	6	3	1	0	0	0	854	10%	442	5%	376	4%	151	2%	217	2%	88	1%

\* le linee guida della Germania indicano l'uso di fattori basati sul tono edonico, non avendo tali informazioni non sono stati applicati tali fattori. Considerando come "odore chiaramente percepibile" concentrazione maggiori di 3 OU/m<sup>3</sup>

Simulazione 2; evidenziati in rosso i superamenti di 5 OU/m<sup>3</sup> come 98° percentile, i superamenti di 3 OU/m<sup>3</sup> come 90° e 85° percentile e il superamento per più del 2% delle ore in un anno per le concentrazioni di 1, 3 e 5 OU/m<sup>3</sup>.

RECETTORI	conc. max oraria (OU/m3)		98° percentile conc. max oraria (OU/m3)		90° percentile conc. max oraria (OU/m3) *		85° percentile conc. max oraria (OU/m3) *		n. ore in cui viene superata la con. oraria di 1 UO/m3				n. ore in cui viene superata la con. oraria di 3 UO/m3				n. ore in cui viene superata la con. oraria di 5 UO/m3			
	mod. OD	Inerte	mod. OD	Inerte	mod. OD	Inerte	mod. OD	Inerte	mod. OD		Inerte		mod. OD		Inerte		mod. OD		Inerte	
									numero	%	numero	%	numero	%	numero	%	numero	%	numero	%
Rec1	4	2	0	0	0	0	0	0	29	0%	14	0%	2	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Rec2	4	3	0	0	0	0	0	0	49	1%	26	0%	2	0%	1	0%	0	0%	0	0%
Rec3	6	6	1	1	0	0	0	0	166	2%	90	1%	21	0%	7	0%	5	0%	2	0%
Rec4	12	9	1	1	0	0	0	0	231	3%	123	1%	35	0%	13	0%	8	0%	3	0%
Rec5	4	4	1	1	0	0	0	0	140	2%	82	1%	8	0%	3	0%	0	0%	0	0%
Rec6	5	3	1	0	0	0	0	0	150	2%	41	0%	12	0%	2	0%	1	0%	0	0%
Rec7	10	5	1	1	0	0	0	0	179	2%	117	1%	18	0%	14	0%	2	0%	0	0%
Rec8	1	1	0	0	0	0	0	0	4	0%	3	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Rec9	3	3	1	0	0	0	0	0	70	1%	58	1%	2	0%	2	0%	0	0%	0	0%
Rec10	4	4	1	0	0	0	0	0	80	1%	67	1%	2	0%	2	0%	0	0%	0	0%
Rec11	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0%	2	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Rec12	3	3	0	0	0	0	0	0	47	1%	45	1%	1	0%	1	0%	0	0%	0	0%
Rec13	3	3	0	0	0	0	0	0	22	0%	20	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Rec14	3	2	0	0	0	0	0	0	22	0%	18	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Rec15	1	1	0	0	0	0	0	0	6	0%	3	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Rec16	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0%	1	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Rec17	11	9	2	1	0	0	0	0	360	4%	86	1%	33	0%	13	0%	11	0%	4	0%
R1	10	7	2	1	0	0	0	0	286	3%	116	1%	61	1%	23	0%	18	0%	7	0%
R2	23	11	2	1	0	0	0	0	316	4%	94	1%	71	1%	23	0%	26	0%	8	0%
R3	14	6	2	1	0	0	0	0	302	3%	81	1%	59	1%	17	0%	14	0%	1	0%
R4	16	10	2	1	0	0	0	0	326	4%	102	1%	85	1%	31	0%	25	0%	7	0%
R5	10	4	2	0	0	0	0	0	301	3%	76	1%	54	1%	12	0%	10	0%	0	0%
R6	14	9	2	1	0	0	0	0	407	5%	169	2%	116	1%	43	0%	50	1%	17	0%
R7	22	8	2	1	0	0	0	0	396	5%	108	1%	100	1%	27	0%	34	0%	6	0%
R8	26	8	2	1	0	0	0	0	385	4%	155	2%	92	1%	30	0%	33	0%	7	0%
R9	26	13	3	1	0	0	0	0	535	6%	148	2%	168	2%	33	0%	67	1%	12	0%
R10	18	6	2	1	0	0	0	0	408	5%	88	1%	95	1%	21	0%	29	0%	4	0%
R11	52	15	5	2	1	0	0	0	668	8%	293	3%	328	4%	91	1%	169	2%	43	0%
R12	13	8	2	1	0	0	0	0	412	5%	88	1%	83	1%	11	0%	23	0%	5	0%
R13	13	8	2	1	0	0	0	0	462	5%	97	1%	114	1%	23	0%	31	0%	6	0%
R14	14	8	3	1	0	0	0	0	478	5%	96	1%	132	2%	26	0%	38	0%	8	0%
R15	75	20	8	2	1	0	0	0	809	9%	368	4%	469	5%	125	1%	324	4%	75	1%
R16	16	8	3	1	0	0	0	0	590	7%	130	1%	189	2%	31	0%	71	1%	10	0%
R17	44	16	6	1	1	0	0	0	877	10%	277	3%	463	5%	81	1%	270	3%	37	0%
R18	17	7	3	1	0	0	0	0	573	7%	118	1%	180	2%	26	0%	59	1%	9	0%
R19	20	10	4	1	1	0	0	0	726	8%	166	2%	269	3%	39	0%	115	1%	11	0%
R20	21	10	3	1	0	0	0	0	480	5%	87	1%	138	2%	19	0%	43	0%	4	0%
R21	80	17	14	3	3	1	1	0	1429	16%	466	5%	931	11%	136	2%	650	7%	71	1%
R22	61	12	7	1	1	0	0	0	979	11%	263	3%	469	5%	79	1%	274	3%	30	0%
R23	279	37	26	4	3	1	1	0	1338	15%	731	8%	912	10%	267	3%	704	8%	134	2%
R24	24	8	3	1	1	0	0	0	593	7%	118	1%	188	2%	24	0%	58	1%	10	0%
R25	948	39	60	7	6	1	3	1	1757	20%	1143	13%	1275	15%	460	5%	1019	12%	276	3%
R26	24	9	3	1	1	0	0	0	660	8%	150	2%	220	3%	38	0%	90	1%	13	0%
R27	24	9	4	1	1	0	0	0	755	9%	173	2%	284	3%	39	0%	113	1%	16	0%
R28	17	8	3	1	1	0	0	0	660	8%	141	2%	227	3%	41	0%	88	1%	12	0%
R29	355	44	46	7	11	2	6	1	2399	27%	1499	17%	1701	19%	564	6%	1389	16%	299	3%
R30	403	55	50	8	10	2	5	1	2309	26%	1399	16%	1649	19%	569	6%	1312	15%	333	4%
R31	31	11	4	1	1	0	0	0	753	9%	169	2%	267	3%	45	1%	126	1%	20	0%
R32	597	69	60	8	11	2	6	1	2546	29%	1612	18%	1815	21%	661	8%	1455	17%	356	4%
R33	140	31	11	3	2	1	1	0	1168	13%	652	7%	639	7%	202	2%	409	5%	99	1%
R34	16	12	3	1	1	0	0	0	663	8%	150	2%	210	2%	43	0%	90	1%	16	0%
R35	17	15	3	1	1	0	0	0	698	8%	161	2%	220	3%	42	0%	101	1%	12	0%
R36	2242	116	219	20	24	6	10	3	2721	31%	2089	24%	2085	24%	1339	15%	1750	20%	975	11%
R37	23	13	3	1	1	0	0	0	701	8%	161	2%	213	2%	44	1%	85	1%	18	0%
R38	45	21	8	3	1	0	0	0	870	10%	500	6%	444	5%	188	2%	275	3%	112	1%
R39	165	40	20	7	3	1	1	0	1306	15%	843	10%	843	10%	400	5%	635	7%	245	3%
R40	107	40	14	6	2	1	1	0	1131	13%	714	8%	678	8%	302	3%	522	6%	198	2%
R41	1072	77	79	17	9	3	3	1	1758	20%	1335	15%	1324	15%	874	10%	1120	13%	658	8%
R42	636	84	55	14	7	3	2	1	1663	19%	1251	14%	1240	14%	801	9%	1024	12%	567	6%
R43	748	41	35	10	4	2	1	1	1443	16%	1074	12%	1024	12%	616	7%	827	9%	401	5%
R44	84	24	11	2	2	1	1	0	1169	13%	481	5%	723	8%	114	1%	523	6%	66	1%
R45	78	27	10	3	1	0	0	0	781	9%	483	6%	473	5%	185	2%	343	4%	124	1%
R46	22	18	3	1	1	0	0	0	671	8%	166	2%	221	3%	50	1%	81	1%	25	0%
R47	19	17	3	1	1	0	0	0	664	8%	169	2%	210	2%	46	1%	78	1%	21	0%
R48	18	14	3	1	1	0	0	0	674	8%	178	2%	218	2%	50	1%	81	1%	20	0%
R49	19	18	4	1	1	0	0	0	635	7%	244	3%	234	3%	86	1%	94	1%	37	0%

\* le linee guida della Germania indicano l'uso di fattori basati sul tono edonico, non avendo tali informazioni non sono stati applicati tali fattori. Considerando come "odore chiaramente percepibile" concentrazione maggiori di 3 OU/m3



## ALLEGATO 6

Concentrazione massima oraria nell'anno 2014 e relativi parametri meteorologici, Simulazione  
2, modulo odori, 23 sorgenti.

	ANNO	MESE	GIORNO	ORA	OU/m3	T (°C)	VV (m/s)	DV (deg)	PG classe	Hmix (m)	PP (mm)	L M-O (m)	Friction velocity (m/s)	Convective velocity (m/s)	Vertical wind speed (m/s)
R1	2014	07	16	09	9,90	26,65	2,2	345	2	649,1	0,00	-50,59	0,46	1,45	0,06
R2	2014	05	08	09	22,72	17,65	2,2	38	2	1254	0,00	-54,32	0,45	1,74	0,12
R3	2014	07	02	09	14,10	23,95	2,7	13	2	1540	0,00	-80,67	0,54	1,94	0,15
R10	2014	01	30	09	18,28	6,65	1,8	144	4	175,3	0,10	111,40	0,27	0,00	-0,11
R11	2014	03	28	10	51,98	15,35	4,0	1	3	1225	0,00	-244,60	0,73	1,68	0,15
R12	2014	01	25	10	12,60	7,55	1,5	313	2	444,6	0,00	-64,38	0,30	0,78	-0,12
R13	2014	06	01	11	12,73	22,15	3,3	71	2	1311	0,00	-96,78	0,64	2,06	0,11
R14	2014	10	27	10	13,74	14,25	4,4	61	3	935,9	0,00	-496,50	0,79	1,28	0,07
R15	2014	04	17	10	74,87	14,55	3,2	5	2	1037	0,00	-120,60	0,61	1,70	0,31
R16	2014	06	01	11	16,06	22,15	3,3	71	2	1311	0,00	-96,78	0,64	2,06	0,11
R17	2014	10	28	10	43,50	13,65	3,1	55	3	1055	0,00	-186,00	0,58	1,38	-0,19
R18	2014	06	01	11	16,59	22,15	3,3	71	2	1311	0,00	-96,78	0,64	2,06	0,11
R19	2014	10	27	10	20,23	14,25	4,4	61	3	935,9	0,00	-496,50	0,79	1,28	0,07
R20	2014	10	25	10	20,50	15,15	3,4	43	4	1065	0,00	-267,10	0,62	1,30	-0,02
R21	2014	03	28	15	79,71	14,55	3,1	79	2	1524	0,00	-116,90	0,59	1,89	-0,20
R22	2014	10	26	13	60,80	15,75	4,4	60	3	1385	0,00	-345,70	0,80	1,70	-0,17
R23	2014	11	02	10	278,78	15,95	1,1	312	2	335	0,00	-19,01	0,26	0,91	0,17
R24	2014	10	25	10	24,02	15,15	3,4	43	4	1065	0,00	-267,10	0,62	1,30	-0,02
R25	2014	11	20	10	947,96	10,15	1,7	294	2	323,6	0,00	-66,09	0,34	0,75	0,20
R26	2014	01	23	18	23,98	9,35	1,0	99	4	52,21	0,00	20,41	0,09	0,00	0,05
R27	2014	12	31	13	23,85	1,85	8,3	53	4	1354	0,00	-3718,00	1,46	1,27	0,00
R28	2014	05	31	12	17,39	19,75	4,8	84	2	1548	0,00	-236,90	0,88	2,22	0,23
R29	2014	04	17	10	355,24	14,55	3,2	5	2	1037	0,00	-120,60	0,61	1,70	0,31
R30	2014	06	30	10	403,07	23,95	2,3	323	2	1324	0,10	-46,23	0,48	2,00	0,04
R31	2014	06	15	12	30,71	23,35	8,7	74	4	1871	0,00	-4786,00	1,52	1,16	-0,20
R32	2014	04	17	10	597,49	14,55	3,2	5	2	1037	0,00	-120,60	0,61	1,70	0,31
R33	2014	05	20	09	140,09	20,45	2,2	311	4	707,6	0,00	-67,82	0,44	1,31	0,00
R34	2014	02	03	14	16,46	9,35	2,1	75	4	490,7	0,50	-238,70	0,39	0,65	-0,19
R35	2014	05	21	12	16,61	23,55	5,1	97	4	1290	0,00	-307,10	0,92	1,93	0,05
R36	2014	04	01	10	2241,70	17,75	2,7	280	2	587,1	0,00	-86,21	0,53	1,33	-0,23
R37	2014	01	23	18	22,90	9,35	1,0	99	4	52,21	0,00	20,41	0,09	0,00	0,05
R38	2014	12	19	09	45,19	6,65	1,5	271	3	60,5	0,00	20,41	0,13	0,00	0,16
R39	2014	07	09	08	164,63	23,55	3,2	293	3	849,7	0,00	-161,50	0,52	1,35	-0,39
R4	2014	05	08	09	15,86	17,65	2,2	38	2	1254	0,00	-54,32	0,45	1,74	0,12
R40	2014	05	27	12	106,61	22,15	4,0	264	2	2026	0,00	-145,80	0,75	2,45	0,07
R41	2014	05	23	13	1072,20	24,75	5,6	215	4	1836	0,00	-506,20	1,00	1,95	0,07
R42	2014	07	08	14	636,47	27,35	9,2	228	3	2228	0,00	-1482,00	1,62	2,51	-0,10
R43	2014	05	23	14	747,63	25,45	4,8	220	3	1808	0,00	-267,60	0,87	2,24	-0,10
R44	2014	06	21	14	84,28	23,55	4,8	107	2	1618	0,00	-243,80	0,88	2,26	-0,31
R45	2014	05	23	13	77,65	24,75	5,6	215	4	1836	0,00	-506,20	1,00	1,95	0,07
R46	2014	06	21	14	21,50	23,55	4,8	107	2	1618	0,00	-243,80	0,88	2,26	-0,31
R47	2014	06	21	14	19,06	23,55	4,8	107	2	1618	0,00	-243,80	0,88	2,26	-0,31
R48	2014	06	21	14	17,75	23,55	4,8	107	2	1618	0,00	-243,80	0,88	2,26	-0,31
R49	2014	07	01	08	19,01	23,85	4,2	130	3	980,3	0,00	-329,70	0,76	1,36	-0,09
R5	2014	05	13	11	9,60	16,75	5,0	34	3	1015	0,00	-295,40	0,91	1,77	0,25
R6	2014	07	16	09	14,08	26,65	2,2	345	2	649,1	0,00	-50,59	0,46	1,45	0,06
R7	2014	05	08	09	21,88	17,65	2,2	38	2	1254	0,00	-54,32	0,45	1,74	0,12
R8	2014	08	30	07	25,88	21,35	1,5	298	3	238,4	0,00	-104,00	0,29	0,43	0,17
R9	2014	10	25	16	26,32	15,85	2,7	75	3	1037	0,00	-220,00	0,50	1,13	0,09
Rec1	2014	10	04	07	3,78	18,35	1,8	346	3	62,24	0,00	20,41	0,16	0,00	-0,52
Rec2	2014	02	11	19	3,99	9,25	2,1	297	4	232,9	0,00	170,50	0,33	0,00	0,11
Rec3	2014	11	23	02	6,07	11,35	1,7	341	4	147,8	0,00	98,48	0,25	0,00	0,26
Rec4	2014	12	25	22	12,37	7,85	1,8	315	4	175,7	0,00	114,30	0,27	0,00	0,29
Rec5	2014	03	18	11	3,92	14,85	1,7	312	2	399,1	0,00	-29,71	0,38	1,20	-0,04
Rec6	2014	10	27	10	5,06	14,25	4,4	61	3	935,9	0,00	-496,50	0,79	1,28	0,07
Rec7	2014	04	09	01	9,65	15,35	2,7	22	4	373,4	0,00	322,30	0,44	0,00	0,10
Rec8	2014	09	15	08	1,38	21,55	1,8	95	4	568,6	0,00	-73,13	0,36	0,97	-0,23
Rec9	2014	11	29	20	3,28	11,65	1,1	284	4	53,85	0,00	20,42	0,10	0,00	0,07
Rec10	2014	01	02	00	3,53	2,75	1,0	257	6	53,17	0,00	20,41	0,09	0,00	0,16
Rec11	2014	09	08	20	1,36	20,85	1,4	130	6	59,2	0,00	20,41	0,12	0,00	0,00
Rec12	2014	01	22	22	3,34	6,65	2,1	254	6	164,3	0,00	63,32	0,28	0,00	0,03
Rec13	2014	07	02	22	2,77	21,35	1,2	166	6	56,76	0,00	20,41	0,10	0,00	-0,06
Rec14	2014	08	21	21	2,51	21,85	1,4	157	4	98,45	0,00	48,41	0,17	0,00	0,11
Rec15	2014	07	20	02	1,14	24,05	0,9	165	6	50,5	0,00	20,41	0,08	0,00	-0,06
Rec16	2014	12	13	06	1,09	4,45	2,4	221	5	303,4	0,00	158,70	0,37	0,00	0,02
Rec17	2014	08	25	08	10,67	21,75	1,7	103	2	758,5	0,00	-48,14	0,35	1,20	0,15

Concentrazione massima oraria nell'anno 2014 e relativi parametri meteorologici, Simulazione 2, peak-to-mean uguale a 2,3, 23 sorgenti.

	ANNO	MESE	GIORNO	ORA	OU/m3	T (°C)	VV (m/s)	DV (deg)	PG classe	Hmix (m)	PP (mm)	L M-O (m)	Friction velocity (m/s)	Convective velocity (m/s)	Vertical wind speed (m/s)
R1	2014	03	25	02	7,20	7,95	1,3	267	6	59,53	0,00	20,41	0,11	0,00	-0,10
R2	2014	08	24	05	10,56	18,25	0,9	307	6	50,47	0,00	20,41	0,08	0,00	0,09
R3	2014	11	24	18	5,51	12,55	0,4	290	4	50	0,00	27,06	0,05	0,00	-0,01
R4	2014	01	09	00	10,11	6,35	0,9	246	4	50,57	0,00	20,41	0,08	0,00	0,09
R5	2014	09	07	22	4,28	21,75	0,9	359	6	50,42	0,00	20,41	0,08	0,00	0,01
R6	2014	12	15	17	9,27	9,35	0,4	29	4	50	0,00	27,06	0,05	0,00	0,00
R7	2014	06	03	05	7,53	17,65	0,8	319	6	50	0,00	20,41	0,07	0,00	-0,14
R8	2014	08	30	07	7,96	21,35	1,5	298	3	238,4	0,00	-104,00	0,29	0,43	0,17
R9	2014	11	24	18	12,71	12,55	0,4	290	4	50	0,00	27,06	0,05	0,00	-0,01
R10	2014	10	29	19	5,82	12,15	1,4	328	6	58,52	0,00	20,41	0,12	0,00	0,10
R11	2014	11	19	19	14,57	10,35	1,2	301	6	55,22	0,00	20,41	0,10	0,00	0,10
R12	2014	01	25	10	7,98	7,55	1,5	313	2	444,6	0,00	-64,38	0,30	0,78	-0,12
R13	2014	01	25	10	7,58	7,55	1,5	313	2	444,6	0,00	-64,38	0,30	0,78	-0,12
R14	2014	09	12	20	7,51	17,35	1,3	17	4	73,64	0,00	33,27	0,14	0,00	0,12
R15	2014	02	18	19	19,87	10,35	1,2	341	4	54,96	0,00	20,41	0,10	0,00	0,04
R16	2014	10	29	18	7,58	12,15	0,7	342	6	50	0,00	20,41	0,06	0,00	0,10
R17	2014	06	03	05	15,96	17,65	0,8	319	6	50	0,00	20,41	0,07	0,00	-0,14
R18	2014	11	06	18	7,02	16,05	1,4	105	4	95,75	2,60	47,53	0,17	0,00	-0,08
R19	2014	11	06	18	9,80	16,05	1,4	105	4	95,75	2,60	47,53	0,17	0,00	-0,08
R20	2014	09	07	21	9,53	22,25	1,0	15	6	51,99	0,00	20,41	0,09	0,00	0,03
R21	2014	06	08	05	16,56	21,45	1,5	71	6	60,05	0,00	20,41	0,13	0,00	0,01
R22	2014	01	04	09	12,37	7,45	1,5	89	4	110,1	0,20	61,93	0,20	0,00	-0,13
R23	2014	04	20	01	36,75	12,95	1,2	270	6	57,55	0,00	20,42	0,10	0,00	-0,20
R24	2014	02	19	07	8,32	9,75	0,8	86	4	50	0,00	20,41	0,07	0,00	-0,07
R25	2014	07	03	05	38,85	20,45	0,8	315	6	50	0,00	20,42	0,07	0,00	-0,15
R26	2014	01	23	18	9,02	9,35	1,0	99	4	52,21	0,00	20,41	0,09	0,00	0,05
R27	2014	06	08	06	8,99	23,25	0,8	77	3	150,4	0,00	-27,38	0,18	0,40	-0,08
R28	2014	06	08	05	8,31	21,45	1,5	71	6	60,05	0,00	20,41	0,13	0,00	0,01
R29	2014	11	20	18	43,55	10,05	0,7	339	6	50	0,00	20,41	0,06	0,00	-0,09
R30	2014	06	03	04	55,16	16,95	0,5	17	6	50	0,00	26,79	0,05	0,00	0,00
R31	2014	04	19	20	11,08	13,95	1,0	97	4	52,18	0,00	20,42	0,09	0,00	0,00
R32	2014	07	18	05	69,36	23,55	0,3	310	4	50	0,00	27,06	0,05	0,00	-0,06
R33	2014	11	02	08	31,04	12,25	1,2	317	3	55,61	0,00	20,41	0,11	0,00	0,17
R34	2014	04	12	23	12,24	13,15	0,7	74	6	50	0,00	20,41	0,06	0,00	-0,23
R35	2014	09	06	04	15,46	20,85	2,1	359	5	148,6	0,00	91,57	0,30	0,00	-0,17
R36	2014	11	20	21	115,67	8,95	1,8	313	6	64,07	0,00	20,41	0,16	0,00	0,10
R37	2014	04	19	21	12,66	13,45	1,2	92	6	55,53	0,00	20,41	0,10	0,00	0,04
R38	2014	01	07	01	21,15	7,65	1,3	268	6	60,2	0,00	20,41	0,11	0,00	0,03
R39	2014	05	15	22	40,06	16,55	1,2	227	4	58,17	0,00	20,41	0,11	0,00	0,02
R40	2014	11	08	18	40,13	13,45	0,8	328	6	50	0,00	20,41	0,07	0,00	0,11
R41	2014	09	29	06	76,70	15,85	1,3	260	6	59,96	0,00	20,41	0,11	0,00	-0,13
R42	2014	06	03	02	83,73	16,75	0,7	220	4	50	0,00	20,42	0,06	0,00	0,07
R43	2014	10	15	19	41,06	19,05	1,1	238	4	55,7	0,00	20,41	0,10	0,00	0,02
R44	2014	04	13	02	23,64	13,95	0,6	93	4	50	0,00	20,41	0,05	0,00	-0,16
R45	2014	04	14	03	26,76	10,65	1,0	203	6	52,9	0,00	20,41	0,09	0,00	0,01
R46	2014	05	22	23	17,75	19,25	1,1	183	4	55,51	0,00	20,42	0,10	0,00	-0,10
R47	2014	06	06	23	16,89	20,65	1,4	100	6	59,04	0,00	20,41	0,12	0,00	-0,03
R48	2014	09	23	02	14,28	15,75	0,9	50	6	50,48	0,00	20,41	0,08	0,00	-0,23
R49	2014	11	09	22	18,31	15,05	2,0	101	5	192,1	0,00	120,30	0,30	0,00	0,06
Rec1	2014	08	24	06	2,22	18,85	1,4	309	3	58,08	0,00	20,41	0,12	0,00	0,02
Rec2	2014	11	19	19	3,01	10,35	1,2	301	6	55,22	0,00	20,41	0,10	0,00	0,10
Rec3	2014	10	28	20	5,52	11,75	2,2	302	6	132,6	0,00	72,72	0,30	0,00	-0,11
Rec4	2014	11	08	23	8,61	13,75	0,7	302	6	50	0,00	20,41	0,06	0,00	0,14
Rec5	2014	08	23	23	3,83	17,85	1,2	306	6	55,58	0,00	20,41	0,11	0,00	0,29
Rec6	2014	10	29	18	3,39	12,15	0,7	342	6	50	0,00	20,41	0,06	0,00	0,10
Rec7	2014	01	08	03	4,52	5,15	1,5	246	6	64,57	0,00	20,41	0,13	0,00	0,00
Rec8	2014	01	23	19	1,17	9,25	1,8	102	4	178,2	0,00	112,20	0,26	0,00	-0,01
Rec9	2014	01	07	02	3,24	6,75	1,8	248	5	137,5	0,00	54,24	0,23	0,00	-0,06
Rec10	2014	01	02	00	3,53	2,75	1,0	257	6	53,17	0,00	20,41	0,09	0,00	0,16
Rec11	2014	09	08	20	1,19	20,85	1,4	130	6	59,2	0,00	20,41	0,12	0,00	0,00
Rec12	2014	01	22	22	3,32	6,65	2,1	254	6	164,3	0,00	63,32	0,28	0,00	0,03
Rec13	2014	07	02	22	2,77	21,35	1,2	166	6	56,76	0,00	20,41	0,10	0,00	-0,06
Rec14	2014	09	29	22	2,21	17,75	1,1	178	6	54,89	0,00	20,41	0,10	0,00	-0,05
Rec15	2014	07	20	02	1,14	24,05	0,9	165	6	50,5	0,00	20,41	0,08	0,00	-0,06
Rec16	2014	12	13	06	1,09	4,45	2,4	221	5	303,4	0,00	158,70	0,37	0,00	0,02
Rec17	2014	06	12	00	8,52	24,85	1,4	159	6	59,84	0,00	20,42	0,12	0,00	0,07

## BIBLIOGRAFIA

Azzeri R., (1997). La Rimozione Biologica degli Inquinanti Gassosi. *Biologia Ambientale* n. 06.

Belgiorno V., Naddeo V., Zarra T., (2009). Atti del corso di formazione: Caratterizzazione degli odori per la valutazione d'impatto ambientale. Fisciano (SA): ISBN: 978-1-4452-3343-7.

Bellasio R., Bianconi R., (2012). Il sistema modellistico LAPMOD per la simulazione dell'inquinamento atmosferico in orografia complessa. *Ingegneria Ambientale* vol. XLI n. 6 novembre-dicembre 2012.

Benzo M., Bonsanto A., (2014). Applicazione della tecnica GC/MS-O per l'individuazione e la classificazione delle sostanze odorigene più rilevanti in emissioni del campo petrolchimico, in *L'aria e la sua qualità: normativa, tecniche per il monitoraggio e il controllo e prevenzione* pag. 447-452, L. Morselli (Editor) Maggioli Ed. SpA-Rimini ECOMONDO.

Bertoni D., Mazzali P., Vignali A., (1993). Analisi e controllo degli odori. *Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale* n.28, Pitagora Editrice Bologna.

Bliss P.J., Jiang K., Schulz T.J., (1995). The Development of a Sampling System for Determining Odor Emission Rates from Areal Surfaces: Part II. Mathematical Model. *Journal of the Air & Waste Management Association* 45, 989-994.

Brattoli M., De Gennaro G., (2008). Ecoevent 2008 "Monitoraggio Ambientale in Discarica".

Brennan B., (1993). Odour nuisance. *Water and Waste Treatment*, 36, 30-33.

Bruno P., Caselli M., Caputi M., de Gennaro G., Nardelli P., Tutino M., (2003). Monitoraggio di sostanze odorigene prodotte da impianti di smaltimento di rifiuti in *La Ricerca Applicata nel Campo del Riciclo e Gestione dei Rifiuti, Tecnologie e Controllo Ambientale* (ISBN 88-387-3104-7) pag. 324-331, L. Morselli (Editor) Maggioli Ed. SpA-Rimini ECOMONDO.

Capelli L., Sironi S., (2010). Studio previsionale di impatto mediante simulazione della dispersione atmosferica. *Impianto di digestione anaerobica e compostaggio di FORSU e verde*. Milano.

Capelli L., Sironi S., Del Rosso R., Centola P., (2009). Design and validation of a wind tunnel system for odour sampling on liquid area sources. *Water Science and Technology* 59, 1611-1620.

Castano P., Cocco L., De Barbieri A., D'Este L., Gheri G., Mondello M.R., Papa S., Petriglieri P., Pizzini G., Ricola C, Rossi S., Sacchi G, Sirigu P., Spinella S., (1992). *Anatomia Umana* - Edi-Erme Milano.

Centola P., Sironi S., Capelli L., Del Rosso R., (2004). Valutazione di impatto odorigeno di una

realità industriale. AIDIC Servizi Srl.

Centola P., (2000). Determinazione degli odori mediante metodi chimici. Documento pubblicato dall'ANPA, realizzato a cura del Politecnico di Milano.

Chang J. C., Hanna S. R., (2004). Air quality model performance evaluation. *Meteorol Atmos Phys* 87, 167–196.

Chen Y., Bundy D.S., Hoff S.J., (1999). Using olfactometry to measure intensity and threshold dilution ratio for evaluating swine odor. *Journal of the Air and Waste Management*, Vol 49.

Cusano G., (2012). Emissioni olfattive, le linee guida della Lombardia. *Ecoscienza* n.1.

D'Alessandro M., (2002). Valutazione degli impatti atmosferici di una discarica RSU/RSA: misura delle emissioni osmogene e simulazione delle loro diffusione come componenti delle emissioni totali. Documento redatto per l'ANPA, a cura del Politecnico di Milano

Dalton, P., (2002). Olfaction. In: Yantis, S. and Pashler, H., Eds., *Steven's Handbook of Experimental Psychology: Vol. 1. Sensation and Perception*, 3rd Edition, John Wiley, New York, 691-746.

De Gennaro G., Bruno P., Caselli M., De Leonibus M.A., De Palo F., Parenza A.E., Brattoli M., De Gennaro L., (2007). Valutazione dell'inquinamento olfattivo mediante olfattometria dinamica: indagine preliminare in La cultura e le tecnologie ambientali in Italia ed in Europa (ISBN 978-88-387-3982-X) pag. 555-558, L. Morselli (Editor) Maggioli Ed. SpA-Rimini ECOMONDO.

Deserti M., Lollobrigida F., Angelino E., (2004). I modelli per la valutazione e gestione della qualità dell'aria: normativa, strumenti, applicazioni.

Di Francesco F., Lazzerini B., Marcelloni F., Pioggia G., (2001). An electronic nose for odour annoyance assessment. *Atmospheric Environment* 35: 1225-1234.

Fanizzi L., Miscelo S., Piscitelli G., (2001). Qualità, misura e dispersione degli odori nell'ambiente da impianti di depurazione acque reflue. *Scienza e inquinamento*.

Finzi G., (2001). *La qualità dell'aria: modelli previsionali e gestionali*. Roma: McGraw-Hill Editore.

Frechen F.B., Frey M., Wett M., Löser C., (2004). Aerodynamic performance of a low-speed wind tunnel. *Water Science and Technology* 50: 57-64.

Frechen F.B., Koster W., (1998). Odour emission capacity of wastewater. Standardization of measurement method and application. *Water Science Technology* 38: 61-69.

Freeman T., Cudmore R., (2002). Review of Odour Management in New Zealand. Air quality Technical Report n. 24.

Freeman T., Needham C., Schulz T., (2000). Analysis of options for odour evaluation for industrial or trade processes. Auckland Regional Council.

Fuoco E., (2005). Sviluppo di una metodologia integrate per la valutazione della molestia olfattiva. Applicazione al caso della discarica di Legoli, comune di Peccioli (PI). Tesi specialistica in Scienze e tecnologie per l'ambiente ed il territorio. Università di Pisa.

Garratt F.R., (1992). The Atmospheric Boundary Layer. Cambridge University Press, New York, 316 pp.

Giuliani S., (2011). Multisensor array system for continuous environmental odour assessment. Dottorato di ricerca in ingegneria civile per l'ambiente e il territorio. Università di Salerno.

Il Grande M., (2000). L'olfattometria dinamica. Esperienze di applicazione per la determinazione degli odori da impianti di trattamento dei rifiuti. Documento redatto per l'ANPA, a cura del Politecnico di Milano.

JRC Reference Report on Monitoring of emissions from IED-installations. Monitoring of emissions to air and water. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU. (IPPC). Joint Researh Centre. Institute for Prospective Technological Studies. Sustainable Production and Consumption Unit. European IPPC Bureau. Final draft October 2013.

Kehoe J.D., Harcus J., Smith M., Warren M.J., (1996). Acquisition, Review and Correlation of Odor Literature for the Air & Waste Management Association EE-6 Odour Committee. University of Windsor.

Leffingwell, J. C., (2003). Chirality & Bioactivity I: Pharmacology. Leffingwell Reports, Vol. 3 (n. 1).

Leffingwell J.C., (2002). Olfaction-V. Leffingwell Reports, vol.2, n.1.

Leland J.V., Schieberle P., Buettner A., Acree T.E., (2001). Gas Chromatography-Olfactometry: the State of the Art, ACS Symposium Series 782. ACS Publications, Washington D.C.

Lisovac e A.M., Shooter D. (2003). Volatiles from sheep wool and the modification of wool odour. Small Ruminant Research 49: 115-124.

Luciali P., Pollini E., Valbonetti D., Bettini L., Gnani V., Rambelli E., Scaroni I., Pagnani M., Briccolani M., Panniello D., Santolini A., Verna D., (2015). Rapporto sulla qualità dell'aria della Provincia di Ravenna, anno 2014.

Manuale d'uso, (2014). LAPMOD Modello Lagrangiano a particelle per la dispersione di

inquinanti in atmosfera. Enviroware srl.

Manuale d'uso, (2014). LAPOST (Postprocessore dei risultati di LAPMOD). Enviroware srl.

Manuale d'uso Olfattometro TO8. ODOURNET. Germany.

McGinley C.N., McGinley MA., (2002). Odour Testing Biosolids for Decision Making. St. Croix Inc./McGinley Associates P.A..

McGinley C.N., Mahin T., Pope R.J., (2000). Elements of Successful Odor/Odour Laws. WEF Odor/VOC Specialty Conference, Cincinnati.

Mugnani F., 2003. Valutazione della molestia olfattiva indotta da un impianto di compostaggio attraverso misure sperimentali e modelli di dispersione atmosferica. Tesi di laurea in Scienze Ambientali.

Naddeo V., Zarra T., Kubo A., Uchida N., Higuchi T., Belgiorno V., (2015). Odour measurement in wastewater treatment plant using both european and japanese standardized methods: correlation and comparison study. Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology Athens, Greece, 3-5 September 2015.

Nagata Y., Takeuchi N., (1990). Measurement of Odor Threshold by Triangle Odor Bag Method. Bulletin of Japan Environmental Sanitation Center 17: 77-89.

Nicell J.A., (2009). Assessment and regulation of odour impacts. Atmospheric Environment 43, 196-206.

Nollet I., Leo M.L., (2000). Handbook of Water Analysis.

Pardo G., Nelli P., Niederjaufner G., (2000). Il Naso elettronico a film semiconduttori. Uno strumento per la valutazione degli odori emessi da impianti di trattamento dei rifiuti. Documento pubblicato dall'ANPA, realizzato a cura dell'Università di Brescia.

Park J.W., Shin H.C., (2001). Surface Emission of Landfill Gas from Solid Waste Landfill. Atmospheric Environment 35: 3445-3451.

Pasquill F., Smith F.R., (1983). Atmospheric Diffusion. (3<sup>o</sup> edition), John Wiley & Sons Inc., New York.

Pivetta A., (2012). Naso elettronico: funzionamento, applicazioni, problemi aperti. Ingegneria dell'informazione, corso di laurea in ingegneria elettronica. Università degli studi di Padova.

Riganti V., (2012). Caratterizzazione chimica delle emissioni odorigene: possibilità di controllo mediante monitoraggio di sostanze traccianti. 47a Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale. La prevenzione e il controllo degli odori negli impianti di trattamento acque e rifiuti

liquidi.

Rossi A. N., (2015). Normative sulle emissioni odorigene: stato dell'arte, evoluzione e aspetti giuridici. Conferenza e dibattito sull'impatto olfattivo-percettivo degli odori e sulla risoluzione delle maggiori problematiche di inquinamento odorigeno. (Modena).

Sberveglieri G., Pardo M., Centola P., Il Grande M., Sironi S., Laraia R., Lucignano F., Sinsi L., Viozzi M., Cortellini L., (2003). Metodi di misura delle emissioni olfattive, Quadro normativo e campagne di misura. APAT, Manuali e Linee Guida 19/2003.

Schulz T., Balch A., Bowly S., (2002). Odour intensity measurement: an overview of its potential for use in odour impact assessment and control. Clean Air and Environmental Quality, Vol 36: 38-42.

Shire S., Robe R., Fernau E., Yamartino J., (2000). Calmet UserGuide.

Sironi S., Centola P., Del Rosso R., Rossi A.N., Bonati S., Il Grande M., (2003). Albero delle decisioni per l'auto valutazione di impatto olfattivo di un impianto industriale in La ricerca applicata nel campo del riciclo e gestione dei rifiuti, tecnologie e controllo ambientale (ISBN 88-387-3104-7) pag. 332-340, L. Morselli (Editor) Maggioli Ed. SpA-Rimini ECOMONDO-2003.

Sozzi R., (2003). La micrometeorologia e la dispersione degli inquinanti in aria. RTI CTN\_ACE XX/2003. APAT.

Walzer J.D., (2001). The performance of the human nose in odour measurement. Water Science and Technology, Vol 49.

Wise P.M., Olsson J.M., Cain W.S., (2000). Quantification of Odor Quality. Chemical Senses 25 (4): 429-443.

Ziemacki G., Settimo G., (2007). Problematiche inerenti il rilevamento di sostanze odorigene in La cultura e le tecnologie ambientali in Italia ed in Europa. (ISBN 978-88-387-3982-X) pag. 566-571, L. Morselli (Editor) Maggioli Ed. SpA-Rimini ECOMONDO.

## SITOGRAFIA

<http://www.arpa.emr.it/> (ultimo accesso: 25/10/2015)

<http://www.envioware.com/> (ultimo accesso: 17/09/2015)

<https://www.env.go.jp/en/air/odor/regulation/all.pdf> (ultimo accesso: 21/10/2015)

[https://www.env.go.jp/en/laws/air/offensive\\_odor/all.pdf](https://www.env.go.jp/en/laws/air/offensive_odor/all.pdf) (ultimo accesso: 21/10/2015)

[http://www.gis.provincia.tn.it/PDF/Via/SCR-2013-01/Integrazione02\\_22\\_05\\_2013/01Relazioni%20tecniche-ambientali/01\\_Integrazione\\_relazione\\_ambientale\\_sul\\_capitolo\\_atmosfera.pdf](http://www.gis.provincia.tn.it/PDF/Via/SCR-2013-01/Integrazione02_22_05_2013/01Relazioni%20tecniche-ambientali/01_Integrazione_relazione_ambientale_sul_capitolo_atmosfera.pdf)  
(ultimo accesso: 28/12/2015)

<http://www.gruppohera.it/> (ultimo accesso: 09/12/2015)

[http://www.isac.cnr.it/dinamica/davolio/tmp/Didattica/dispensa\\_struttura\\_composizione.pdf](http://www.isac.cnr.it/dinamica/davolio/tmp/Didattica/dispensa_struttura_composizione.pdf)  
(ultimo accesso: 16/09/2015)

## NORME, REGOLAMENTI, LEGGI

Detection and Assessment of Odour in Ambient Air (Guideline on Odour in Ambient Air – GOAA) dated 29 February 2008 with supplement of 10 September 2008 Including grounds and advice on interpretation as of 29 February 2008.

Decreto legislativo 13 gennaio 2003, n. 36. Attuazione della direttiva 1999/31/CE relative alle discariche dei rifiuti.

D.g.r. 15 febbraio 2012 - n. IX/3018 Regione Lombardia. Determinazioni generali in merito alla caratterizzazione delle emissioni gassose in atmosfera derivanti da attività a forte impatto odorigeno. BURL 20/02/2012.

UNI EN 13725: 2003 Air quality – determination of odour concentration measurement by dynamic olfactometry.

VDI 3882 (1994). Part 2: Olfactometry, Determination of Hedonic Odour Tone. Normativa Tecnica Tedesca.



## **RINGRAZIAMENTI**

Desidero innanzitutto ringraziare i professori Alberto Modelli e Massimo Andretta per la grande disponibilità e cortesia dimostratemi durante la stesura.

Un ringraziamento doveroso va alla Dott.ssa Patrizia Luciali e a tutti i tecnici del Servizio Sistemi Ambientali di Arpae di Ravenna che sono sempre stati disponibili e che, con la loro competenza, mi hanno insegnato molto durante il tirocinio, in particolar modo la Dott.ssa Elisa Pollini che, sempre cortese e disponibile, ha dedicato tempo e mi ha dato preziosi consigli a sostegno di questo lavoro, insegnandomi molto.

Desidero ringraziare i miei Genitori che mi hanno sempre sostenuto e spronato nelle mie scelte e grazie a loro oggi sono riuscito a raggiungere questo importante traguardo. Grazie a Giulia, mia sorella che, se ho bisogno di qualsiasi cosa è sempre in prima fila per me. Un ringraziamento speciale va a mia nonna Angela che per me è una seconda mamma e che in 25 anni non c'è mai stato un momento che non mi fosse accanto.

Grazie ad Alessandro, Arianna, Emma, Graziana, Lorenzo compagni di corso ma soprattutto Amici, con voi ho condiviso sia i belli sia i brutti momenti della vita universitaria ma soprattutto due anni indimenticabili e Stefania e Mirta che oltre colleghe e Amiche siete state delle fantastiche coinquiline, grazie a voi in casa non è mai mancato il sorriso.

Un ringraziamento va a tutti coloro i quali mi hanno accompagnato in questo percorso, a partire dai miei amici storici fino ad arrivare a quelli più recenti che ad oggi rappresentano un punto di riferimento.