

**DISPERSIONE DI SOSTANZE ODORIGENE  
NELL'ATMOSFERA MEDIANTE SOFTWARE  
DEDICATO E MONITORAGGIO ATTRAVERSO IL  
SISTEMA OLFATTIVO ELETTRONICO  
(NASO ELETTRONICO)**

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

Relatore:

Prof. **ALBERTO MODELLI**

Presentata da:

**ELEONORA GALATI**

Correlatori:

Prof. **MASSIMO ANDRETTA**

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

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

# INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>LA PERCEZIONE DEGLI ODORI</b>	<b>4</b>
2.1	COS'È L'ODORE	4
2.2	UNITÀ DI MISURA	6
2.3	CARATTERISTICHE DELL'ODORE	7
2.3.1	<i>Concentrazione e soglia olfattiva di percezione</i>	7
2.3.2	<i>Intensità</i>	8
2.3.3	<i>Diffusibilità (volatilità)</i>	12
2.3.4	<i>Qualità</i>	13
2.3.5	<i>Tono edonico</i>	14
2.4	EFFETTI DEGLI ODORI SULL'ORGANISMO	15
2.4.1	<i>Adattamento</i>	16
2.4.2	<i>Effetti nocivi di alcune sostanze maleodoranti</i>	16
2.4.3	<i>Effetti Sociali</i>	18
2.5	SORGENTI E SOSTANZE ODORIGENE	19
3	QUADRO NORMATIVO NAZIONALE ED INTERNAZIONALE	21
3.1	NORMATIVA EXTRAEUROPEA	21
3.2	NORMATIVA EUROPEA	21
3.3	NORMATIVA ITALIANA	24
3.4	NORMATIVA REGIONALE – LINEE GUIDA DELLA LOMBARDIA	26
3.5	NORMATIVA REGIONALE – LINEE GUIDA DEL TRENTINO	27
<b>4</b>	<b>L'ATMOSFERA</b>	<b>31</b>
4.1	STRUTTURA E DINAMICA DELL'ATMOSFERA	31
4.2	GRADIENTE TERMICO ADIABATICO E STABILITÀ ATMOSFERICA	33
4.3	LE INVERSIONI TERMICHE	34
4.4	CARATTERISTICHE DELLO STRATO LIMITE TERRESTRE (PBL)	35
4.5	EVOLUZIONE GIORNALIERA DEL PBL	37
4.6	DISPERSIONE DEI PENNACCHI NEL PBL	39
<b>5</b>	<b>MODELLI DI DISPERSIONE ATMOSFERICA</b>	<b>41</b>
5.1	DATI DI SIMULAZIONE MODELLISTICA	42
5.1.1	<i>Dati di input</i>	42
5.1.2	<i>Elaborazione dei risultati</i>	43
5.2	RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI RISULTATI	44
5.3	CARATTERISTICHE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE LAPMOD	45
5.3.1	<i>CALMET</i>	46
5.3.2	<i>LAPMOD</i>	47

5.3.3	<i>LAPOST</i> .....	50
<b>6</b>	<b>STRUMENTI E METODI DI CAMPIONAMENTO</b> .....	<b>51</b>
<b>6.1</b>	<b>IL PROBLEMA DELLA QUANTIFICAZIONE DEGLI ODORI</b> .....	<b>51</b>
6.2	IL CAMPIONAMENTO.....	52
6.2.1	<i>Sorgenti puntuali</i> .....	53
6.2.2	<i>Sorgenti volumetriche</i> .....	54
6.2.3	<i>Sorgenti areali</i> .....	55
6.3	STRUMENTI COMUNI PER L'ANALISI.....	60
6.3.1	<i>Gas cromatografia e spettrometria di massa</i> .....	60
6.3.2	<i>Olfattometria dinamica</i> .....	62
6.3.3	<i>Gas cromatografia accoppiata ad olfattometria</i> .....	64
<b>7</b>	<b>SISTEMA OLFATTIVO ELETTRONICO ('NASO ELETTRONICO')</b> .....	<b>66</b>
7.1	ARCHITETTURA DEL NASO ELETTRONICO .....	66
7.2	PRINCIPALI FASI DI PROCESSO .....	69
7.3	ELABORAZIONE DEI RISULTATI.....	71
7.4	USO DEL NASO ELETTRONICO NEL SETTORE AMBIENTALE .....	72
<b>8</b>	<b>FASE SPERIMENTALE</b> .....	<b>74</b>
8.1	OBIETTIVI DEL LAVORO.....	74
8.2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	75
8.3	QUALITA' DELL'ARIA.....	77
8.4	L'IMPIANTO .....	79
8.5	IL CICLO PRODUTTIVO.....	81
8.5.1	<i>Rifiuti in ingresso al comparto</i> .....	81
8.5.2	<i>Impianto di produzione CSS e Biotunnel</i> .....	82
8.5.3	<i>Impianto di termovalorizzazione di CSS (IRE)</i> .....	84
8.5.6	<i>Impianto di trattamento chimico-fisico (TCF)</i> .....	85
8.5.7	<i>Impianto DISIDRAT</i> .....	86
8.5.8	<i>Discariche per rifiuti pericolosi e non pericolosi</i> .....	89
8.6	CAMPIONAMENTO DELLE EMISSIONI ODORIGENE .....	95
8.7	ANALISI OLFATTOMETRICHE .....	97
8.8	ATTIVITA' SVOLTE .....	99
8.8.1	<i>Segnalazione di odore</i> .....	99
8.8.2	<i>Dominio di simulazione</i> .....	115
8.8.3	<i>Dati di input</i> .....	116
<b>9</b>	<b>MONITORAGGIO IN CONTINUO MEDIANTE SISTEMA OLFATTIVO ELETTRONICO</b> .....	<b>122</b>
9.1	NASO ELETTRONICO.....	122
9.2	ADDESTRAMENTO DEL NASO ELETTRONICO .....	122

9.3 COLLOCAZIONE NASO .....	125
9.4 RILIEVI METEOROLOGICI ABBINATI ALLE SEGNALAZIONI.....	125
9.5 RILIEVI CON NASO ELETTRONICO: ESAME COMPLESSIVO DEI DATI .....	130
9.6 CONFRONTO NASO – SENTINELLA .....	134
<b>10 VALIDAZIONE DEL MODELLO.....</b>	<b>135</b>
10.1 CONFRONTO FRA NASO, SENTINELLA E MODELLO .....	135
10.2 CONFRONTO TRA SENTINELLE E MODELLO.....	138
<b>11 CONCLUSIONI.....</b>	<b>146</b>
<b>ALLEGATO A .....</b>	<b>149</b>
<b>ALLEGATO B .....</b>	<b>152</b>
<b>ALLEGATO C .....</b>	<b>153</b>
<b>ALLEGATO D.....</b>	<b>156</b>
<b>12 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....</b>	<b>157</b>

## PREMESSA

Gli odori costituiscono un aspetto di impatto ambientale prodotto da alcuni impianti industriali e/o artigianali, tra cui quelli di trattamento e smaltimento dei rifiuti, lavorazioni di sottoprodotti di origine animale, trattamento reflui zootecnici, ecc.

Anche se generalmente non associati a sostanze tossiche, gli odori rappresentano una forma di impatto tra le più avvertite e mal sopportate dalla popolazione. Infatti, sebbene in generale non siano stati dimostrati effetti diretti sulla salute, le emissioni odorigene causano indubbio e persistente fastidio per la popolazione residente nelle vicinanze di tali impianti, diventando elemento di conflitto sia nel caso di impianti esistenti, sia nella scelta del sito di localizzazione di nuovi impianti. Oltre che dagli impatti ambientali legati alle emissioni inquinanti, l'accettazione di un qualunque impianto da parte della popolazione è condizionata, in maniera sempre crescente, anche dall'impatto olfattivo spesso associato a tali installazioni. Di per sé gli odori sgradevoli non vengono considerati patogeni, tuttavia la presenza di cattivi odori può alterare l'equilibrio psicofisico delle persone producendo uno stato di malessere tale da condizionarne il comportamento. Fino a pochi anni fa il quadro normativo nazionale e regionale in materia di odori risultava alquanto incerto; infatti, non erano previsti strumenti specifici dedicati al problema del controllo e della determinazione delle sostanze odorigene, inoltre non si considerava la diversa soggettività della percezione olfattiva. La messa a punto di una normativa costituisce un problema di non facile risoluzione: bisogna essere a conoscenza dei fenomeni che determinano l'insorgenza degli odori nei diversi comparti, delle modalità operative che consentono di evitare o limitare al minimo il manifestarsi di tali fenomeni, nonché dei fattori che ne determinano la diffusione, andando a definire un quadro completo ed aggiornato sulle tecniche di abbattimento. Idealmente, sarebbe necessario poter disporre di un sistema di misura che possa dare una risposta immediata quali/quantitativa ad un fenomeno acuto (anche di breve durata) e possa consentire di monitorare l'evoluzione nel tempo e nello spazio della presenza di sostanze odorigene.

I sistemi oggi utilizzati (la classica analisi chimica e le recenti tecniche di olfattometria) rispondono parzialmente a questi requisiti.

Analisi dei fenomeni con brevi tempi di risposta possono essere ottenute mediante i Sistemi Olfattivi Elettronici (più semplicemente "nasi elettronici") opportunamente predisposti e calibrati, mentre, per previsioni di impatto su domini spaziali e temporali estesi, i modelli di simulazione della dispersione in atmosfera degli inquinanti possono risultare un utile strumento di indagine, applicabile sia nel caso di impianti esistenti sia in fase di valutazioni preventive.

## 1 INTRODUZIONE

L'inquinamento atmosferico può essere definito come la presenza nell'atmosfera di sostanze che causano effetti negativi misurabili 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 sono così riassunte [1]:

- 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 ciascuna richiede un diverso approccio nella misurazione e nella regolamentazione [2].

Gli effetti delle attività umane sull'ambiente sono sempre di più oggetto di attenzione. Si possono individuare alcuni 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 [3].

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 molto 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 [4].

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 [5].

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 [6].

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 Arpae Ravenna in collaborazione anche con la sede Arpae di Modena; lo scopo di questo lavoro di tesi è stato quello di proseguire un lavoro svolto nel 2015 [7], nel quale sono state valutate le emissioni odorigene (sorgenti) e le relative immissioni (concentrazione di odore in aria ambiente ai recettori), dovute ad un comparto per la gestione integrata dei rifiuti (Impianto polifunzionale HERA, via Romea Km 2,6 - Ravenna). Le principali sorgenti odorigene individuate nel comparto nel 2015 sono state nuovamente campionate con l'aggiunta di un campione per ogni punto analizzato, necessario ai fini dell'addestramento di un naso elettronico che è stato posizionato presso un recettore sensibile. Successivamente, per ogni campione, è stata determinata la concentrazione di odorante presente tramite analisi olfattometrica presso la sede Arpae di Modena.

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 in questa seconda fase del lavoro.

Il modello utilizzato è di tipo Lagrangiano a particelle tridimensionale e non stazionario (software LAPMOD - LAgrangianParticleMODel), 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.

Con i nuovi dati ottenuti è stato possibile ampliare l'input del modello elaborato nel 2015, in modo da ottenere un'analisi più dettagliata. Inoltre, questo caso di studio è stato supportato dall'utilizzo del naso elettronico come sistema di monitoraggio in continuo, che ha permesso di analizzare l'aria ambiente 24 ore al giorno per tutto il periodo di monitoraggio, da Luglio 2016 a Settembre 2016; in questo modo è stato possibile ottenere dati in momenti della giornata in cui le sentinelle potevano trovarsi lontano del proprio abitato.

Il naso elettronico è stato posizionato presso una delle sentinelle più vicine all'impianto, scegliendo quella che ha compilato in modo più accurato le schede di segnalazione lo scorso anno e che spesso è presente in casa.

I risultati forniti dal naso elettronico hanno permesso di evidenziare la sorgente più impattante tra quelle considerate; infine, è stata tentata la validazione del modello di dispersione attraverso il naso elettronico, confrontando i giorni e gli orari in cui il naso ha percepito una delle sorgenti con le concentrazioni stimate per quel medesimo giorno e ora dal modello.

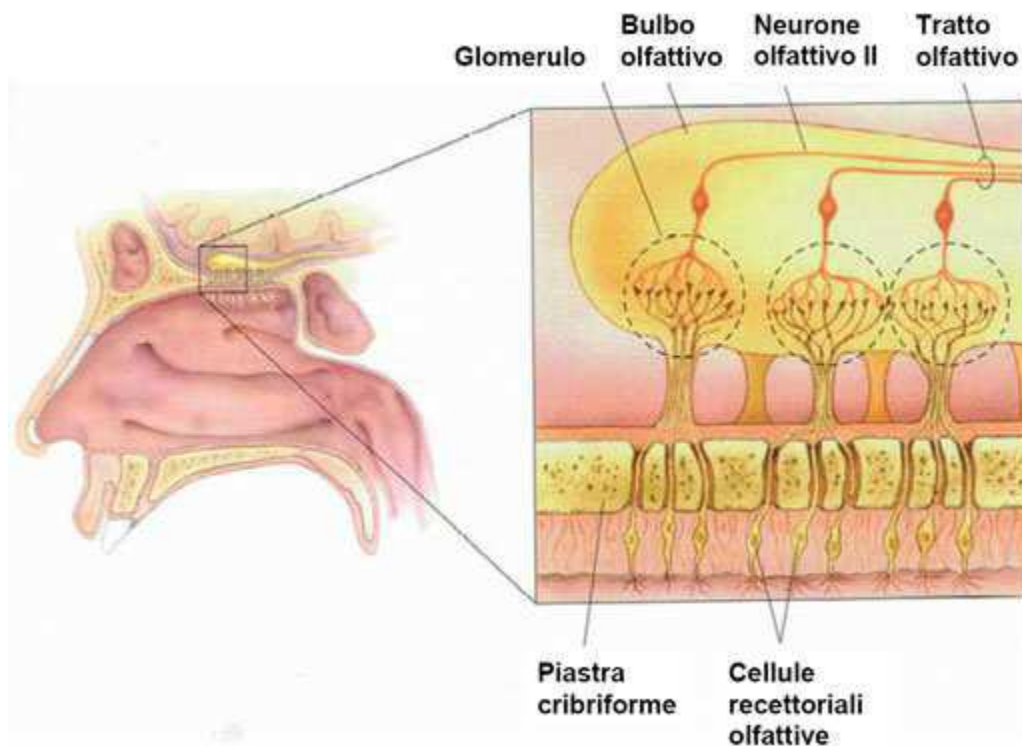


## 2 LA PERCEZIONE DEGLI ODORI

### 2.1 COS'È L'ODORE

L'odore può essere definito [6] come *"qualunque emanazione percepibile attraverso il senso dell'olfatto"* o come *"la risposta soggettiva ad una stimolazione delle cellule olfattive presenti nella sede del naso da parte di molecole gassose"*.

L'apparato olfattivo umano è un sistema complesso e molto sensibile, che consente di percepire e identificare una vasta gamma di odori che possono indurre reazioni e comportamenti di diverso tipo. Le cellule olfattive nell'uomo sono localizzate nella parte superiore della cavità nasale (*Figura 2.1*) e normalmente solo una piccola frazione dell'aria inalata vi entra in contatto. Tuttavia, se viene percepito un odore estraneo, l'organismo reagisce attivando un meccanismo semiriflesso che comporta l'avvicinamento della parte inferiore delle narici al setto nasale, deviando così il flusso d'aria verso la zona sensibile e favorendo il riconoscimento dell'odore.



*Figura 2.1. Localizzazione delle cellule olfattive nell'uomo*

Le cellule olfattive stimolate recepiscono informazioni sull'odore che, sotto forma di impulsi elettrici, vengono inviate a molte aree subordinate del cervello. L'area olfattoria centrale è infatti connessa con molte altre strutture cerebrali quali il talamo, l'ipotalamo, il mesencefalo, il ponte e il midollo spinale, giustificando le numerose differenti attività riflesse (olfatto-salivari, olfatto gastriche, olfatto-cutanee, olfatto-genitali) che possono essere indotte da diversi stimoli olfattivi.

Una volta raggiunti i centri ricettori del cervello, tali messaggi sono trasferiti ai centri predisposti alla valutazione, per mezzo dei quali l'informazione è confrontata con quelle precedentemente acquisite e conservate in memoria. Nonostante i meccanismi di percezione dell'odore siano studiati in modo approfondito, non è ancora chiaro se vi sia una correlazione tra le reazioni indotte dalla percezione di un odore e la composizione chimica delle molecole che lo generano.

La percezione dell'odore è basata su un processo a due step [8]:



L'interpretazione psicologica è un processo individuale che non può essere descritto mediante relazioni o equazioni universalmente valide [8]. 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 [9].

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 questi motivi 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 anche 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 termini di 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 (OUE) la quantità di odorante/i che, quando evaporata in  $1 \text{ m}^3$  di gas neutro in condizioni normali (Condizioni ambientali standard di temperatura e pressione, (Standard Ambient Temperature and Pressure -SATP, i.e.,  $T : 25^\circ\text{C} = 298,15\text{K}$ ;  $P : 1\text{bar}$ ;  $V_m : 24,79\text{L}$ ), provoca una risposta fisiologica (soglia di rivelazione) ad un gruppo di prova equivalente a quella provocata da una massa di odore di riferimento europeo (European Reference Odour Mass -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 OUE / $\text{m}^3$ . 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'OUE 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 al 50%), dove: 1 EROM  $\equiv$  123  $\mu\text{g}$  *n-butanolo*  $\equiv$  1 OUE (Odour Unit Europee) 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 di 1 OUE/ $\text{m}^3$ . Come conseguenza, la concentrazione di odore è espressa come multiplo di un OUE in  $1 \text{ m}^3$  di gas neutro. La concentrazione di odore, in OUE/ $\text{m}^3$ , si può utilizzare nello stesso modo delle concentrazioni in massa ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) (UNI EN 13725, 2003) [10].

Nel presente lavoro verrà indicato solo l' OU (Odor Unit), da intendersi come OUE. 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 inter laboratorio 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) [10].

## 2.3 CARATTERISTICHE DELL'ODORE

Analizzando la struttura chimica delle molecole responsabili di alcune categorie di odori, si sono riscontrate alcune somiglianze significative. 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) [11].

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.

### 2.3.1 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 [12]:

- Soglia di percettibilità (Odour Threshold - OT): rappresenta la concentrazione per la quale il 50% delle persone rileva un odore (*ALLEGATO A*);
- 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 [4,9]:

- Indipendenza:  $RAB \leq RA$  o  $RB$ ;
- Additività:  $RAB = RA + RB$ ;
- Sinergia:  $RAB > RA + RB$ ;
- Antagonismo:  $RAB < RA + RB$

$RAB$  rappresenta la soglia di percettibilità l'OT (Odour Threshold) della miscela ottenuta combinando le sostanze A e B, mentre  $RA$  e  $RB$  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).

### 2.3.2 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 [12,13].

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 [14,15].

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 [4,6].

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

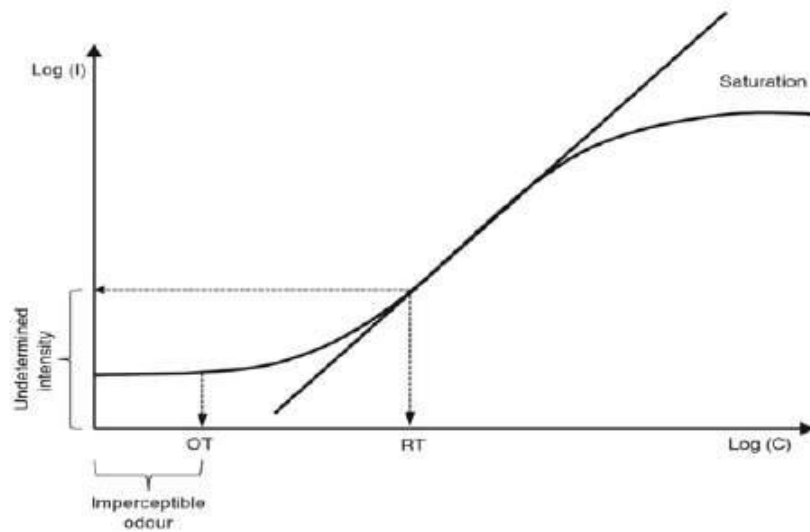
$I$  = intensità della sensazione odorosa, adimensionale;

$K_S$  = 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  $n$ .

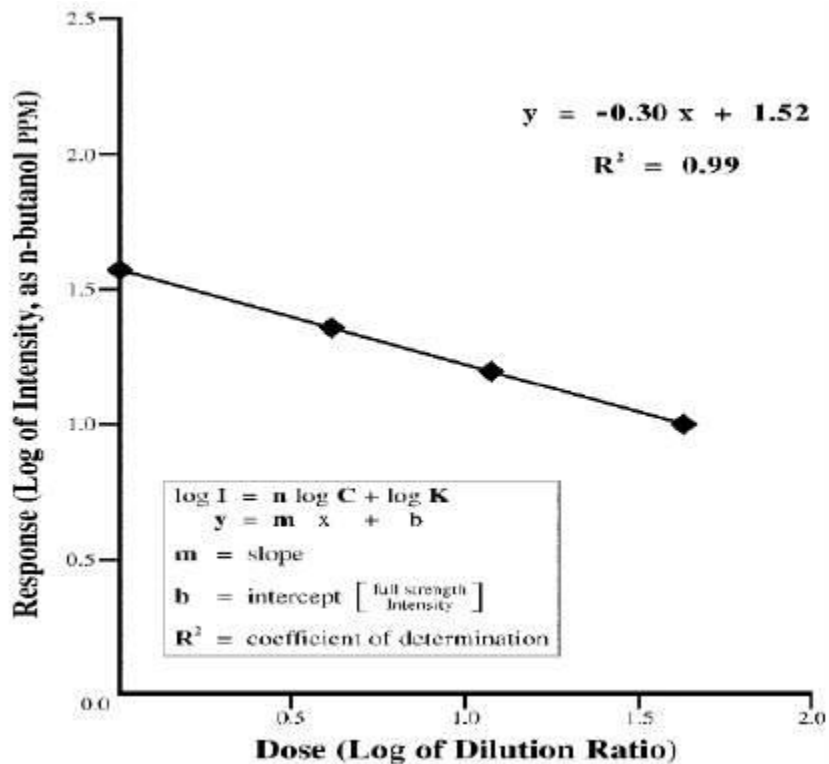


**Figura 2.2. Correlazione tra intensità di odore e concentrazione di odore secondo Stevens.**

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, quindi, 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, in *Figura 2.3* [12,13].



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

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

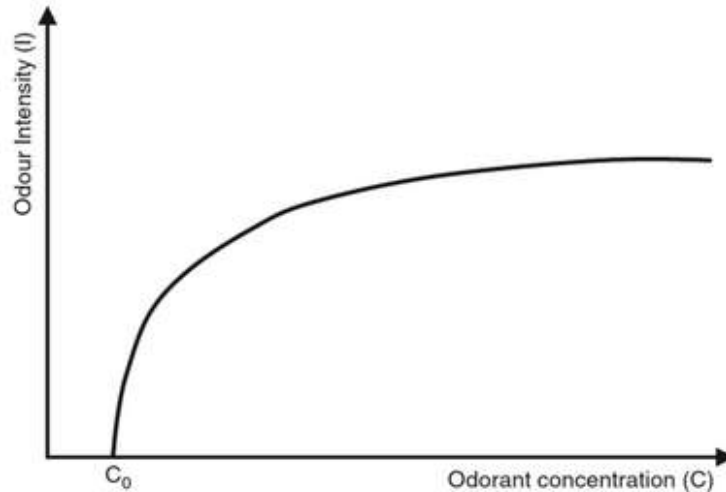
**RELAZIONE DI WEBER-FECHNER:**  $I = K_W \log \frac{C}{C_0}$   $con C > C_0$

$I$  = 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>);

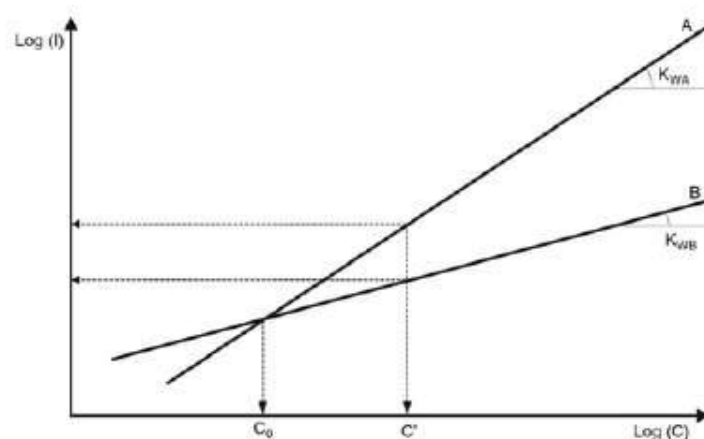
$C_0$  = concentrazione alla soglia di percezione (olfattiva) (OT) (OU/m<sup>3</sup>).



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

La *Figura 2.4* rappresenta l'andamento logaritmico della funzione  $I-C$ , ed evidenzia 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, in funzione delle 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 2.6.

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 [14].

**Tabella 2.6. 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

### **2.3.3 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).

$$.I. = \frac{p_{\text{vap}}}{\text{OT100}}$$

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  $10^9$ [16].

In Tabella 2.7 sono riportati i valori di O.I. per alcune sostanze odorigene.

**Tabella 2.7 : Indice di odore di alcune sostanze odorigene [17]**

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
<i>Propene</i>	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

### 2.3.4 Qualità

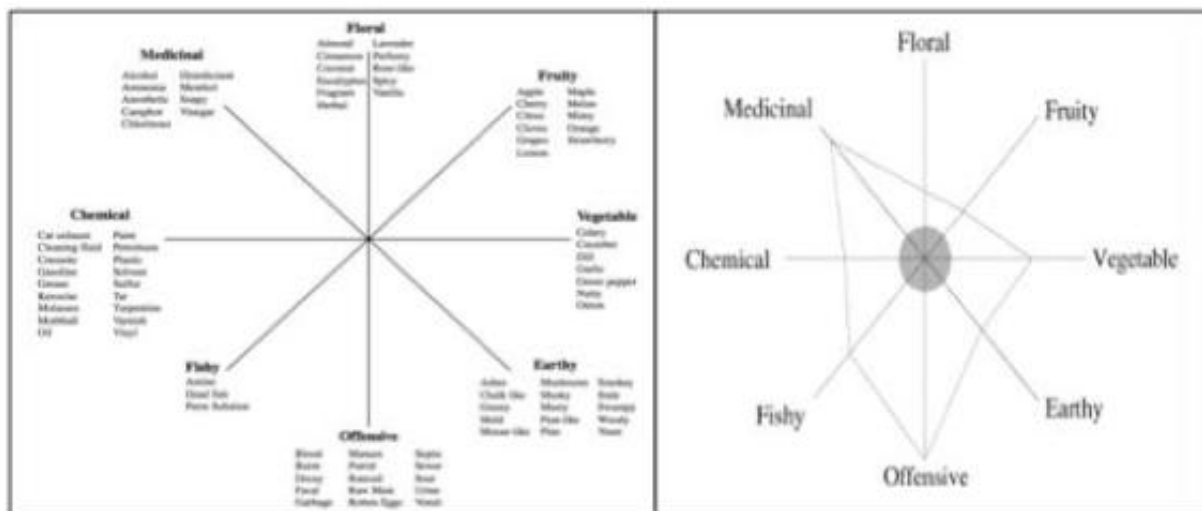
L'uomo può riconoscere migliaia di odori diversi e associare a ciascuno di essi un codice che il cervello è in grado di interpretare come una specifica sensazione. La qualità (o carattere) è la proprietà che permette di identificare un odore e che lo rende distinguibile dagli altri [12].

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 forniti 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 2.8). 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 [18].

**Tabella 2.8. 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 2.9, 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 [12].



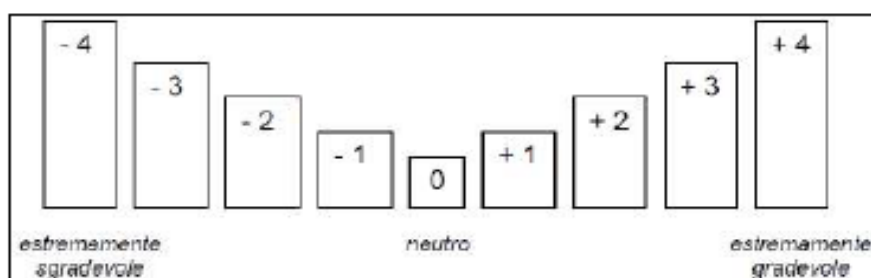
**Figura 2.9. (sx) Ruota di descrizione degli odori, (dx) grafico a ragnatela di descrizione della qualità di un odore.**

### 2.3.5 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 2.10). È, quindi, il parametro direttamente responsabile del disturbo e della

molestia olfattiva. Gli odori, però, non devono essere necessariamente sgradevoli per causare lamentele da parte di individui costantemente esposti [16].

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, come riportato dalle linee guida definite dall'associazione degli ingegneri Tedeschi, olfactometry determination of pedonic odour tone, Verein Deutscher Ingenieure (VDI 3882/1994) [6].



**Figura 2.10. Scala di tono edonico a 9 livelli [17]**

## 2.4 EFFETTI DEGLI ODORI SULL'ORGANISMO

La reazione degli individui agli odori dipende essenzialmente (Tabella 2.11) dai fattori FIDOL (Frequency, Intensity, Duration, Offensiveness and Location) [13].

**Tabella 2.11. 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 motivi che portano 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 psicofisico 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 [19].

#### **2.4.1 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 [19].

#### **2.4.2 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 [6].

**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 (*acidocloroacetico* (ClCH<sub>2</sub>COOH), *ac. tricloraacetico* (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 odorogene, 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 [20].

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 2.12 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 [20].

**Tabella 2.12. Valori di OT ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) e TLV ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) per alcuni composti odorigeni [6, 20]  
in rosso sono evidenziate le sostanze con  $\text{OT} > \text{TLV}$**

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

### 2.4.3 Effetti Sociali

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 loro 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 [12].

## **2.5 SORGENTI E SOSTANZE ODORIGENE**

Le realtà produttive dalle quali derivano gli odori molesti, appartengono a vari settori industriali e possono essere raggruppate, schematicamente, per tipologia di attività in:

- settore agricolo ed agroalimentare (allevamenti, impianti di macellazione, essiccazione di fanghi, liquami e letame, oleifici, industria del vino- ecc.);
- settore industriale (industria chimica, impianti per la produzione di fertilizzanti, raffinerie di petrolio e gas, fonderie, impianti per la produzione di materie plastiche di base e per la fabbricazione di carta e cartone, fabbriche di vernici e impregnanti, impianti di tintura di fibre o tessili, concerie- ecc.);
- settore degli impianti di pubblica utilità (impianti per l'eliminazione o recupero di rifiuti pericolosi e non, discariche, impianti di compostaggio, depuratori di acque, termovalorizzatori- ecc.).

Le sostanze che sono all'origine della diffusione degli odori, nelle aree circostanti ad un sito produttivo, possono essere costituite da prodotti di natura inorganica o da composti organici particolarmente volatili [21].

In Tabella 2.13 sono riassunti i principali composti odorigeni rilevabili nei diversi impianti di ingegneria sanitaria ambientale, ritenuti maggiormente responsabili della molestia. In particolare, nella depurazione delle acque reflue, nelle discariche, nei CDR e negli impianti di compostaggio 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. Nel caso dei termovalorizzatori, alle suddette cause responsabili degli odori provenienti dalla fossa rifiuti si aggiungono le emanazioni dei fumi generati dalla combustione della sostanza organica.



**Tabella 2.13. Composti odorigeni negli impianti di ingegneria sanitaria ambientale [22]**

SORGENTE	COMPOSTI ODORIGENI
IMPIANTI DI DEPURAZIONE	Idrogeno solforato, mercaptani, composti solforati, ammoniaca, ammine, piridina, scatolo, indolo, acidi grassi volatili, aldeidi e chetoni.
DISCARICHE	Ammoniaca, ammine, mercaptani, idrogeno solforato, solfuri organici, bisolfuri, acidi grassi volatili, aldeidi, chetoni, idrocarburi aromatici, limonene, alcoli, terpeni.
IMPIANTI DI COMPOSTAGGIO E CDR	Etanolo, limonene, cadaverina, putrescina, idrogeno solforato, metilmercaptani, acido butirrico, acido acetico, acetaldeide, trimetilammina, dimetildisolfuro.
TERMOVALORIZZATORI	Acetone, acido acetico, benzene, metano, idrogeno solforato, ammoniaca, disolfuro di carbonio, toluene, mercaptani.

In riferimento alle emissioni odorigene 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.

## **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 E679-91 (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, cioè colui deputato all'analisi, la sua selezione e il numero di panelist, ovvero l'insieme dei panel, e il loro grado di allenamento [6].

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 al quale il panel non sente più odore, quindi nessuno dei panelist avverte l'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 [6].

### **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 [23].

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 - binsche) 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. In questa direttiva si trovano indicazioni relative alle modalità di valutazione delle sostanze osmogene (ovvero quelle sostanze in grado di produrre odori sgradevoli) e indicazioni sui 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 [24].

**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 [6].

**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 di molestia olfattiva; tale indice varia da 5 (non c'è una reale molestia) a 90 (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 [6].

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 [5]; 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 limiti precisi, ed il legislatore, dal punto di vista quantitativo, non si esprime. Anche nella normativa sanitaria si trovano limitazioni alle emissioni di sostanze odorogene, 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 fornisce alcun riferimento di tipo quantitativo; si avverte soltanto la tendenza ad assicurare 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 [25].

### **3.4 NORMATIVA REGIONALE – 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 delibere e/o linee guida (LG) 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 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 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 [26,27].

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, rispetto al 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 [9].

### **3.5 NORMATIVA REGIONALE – LINEE GUIDA DEL TRENTINO**

Tali LG [28] sono finalizzate a definire una metodica per la caratterizzazione delle emissioni odorogene e del loro impatto sul territorio circostante, con l'obiettivo di ridurre i conflitti fra attività e popolazione consentendone e favorendone la coesistenza.

La vigente normativa in materia di tutela dell'ambiente dagli inquinamenti, sia a livello comunitario, sia quello statale, non disciplina in modo organico la materia connessa all'inquinamento dovuto al rilascio di sostanze odorogene. Nel Testo Unico delle Leggi provinciali in materia di tutela dell'ambiente dagli inquinamenti (TULP), a seguito dell'aggiunta operata dall'art 31 della l.p. 30 dicembre 2015, n. 20, è stato inserito un puntuale richiamo alle attività ad impatto odorigeno ed all'impegno di definire specifiche LG:

*Art. 102 sexies (Disposizioni per le attività ad impatto odorigeno), comma 1:*



*“Con deliberazione della Giunta provinciale, da approvarsi entro centottanta giorni dall’entrata in vigore di questo articolo, sono definite le linee guida per la caratterizzazione, l’analisi e la definizione dei criteri tecnici e gestionali per la mitigazione delle emissioni delle attività ad impatto odorigeno. Le linee guida sono considerate ai fini del rilascio delle autorizzazioni ai sensi della normativa vigente in materia di tutela dell’ambiente dagli inquinamenti”.*

Queste LG si applicano in via preventiva a tutte le attività soggette ad autorizzazione integrata ambientale (AIA) o rientranti nelle fattispecie di cui alla deliberazione della Giunta Provinciale n. 959 di data 18 maggio 2012 recante “Fase istruttoria del procedimento autorizzatorio in materia di gestione dei rifiuti in impianti dedicati al trattamento della FORSU ( frazione organica rifiuti solidi urbani)”.

Nel caso di impianti esistenti, soggetti ad autorizzazioni ambientali di competenza del Servizio Autorizzazioni e Valutazioni ambientali, anche diverse dalle autorizzazioni integrate ambientali (AIA) o relative ad attività di trattamento della FORSU, le Linee guida si applicano in presenza di ricorrenti e significative segnalazioni di disturbo olfattivo da parte della popolazione residente nel territorio circostante, anche indipendentemente dall’introduzione di modifiche al ciclo produttivo.

Le domande di autorizzazione in materia ambientale relative a nuove attività o al riesame dell’AIA o ad attività di trattamento FORSU devono essere corredate da uno studio di impatto odorigeno mediante simulazione di dispersione. Per le attività non significative sotto il profilo dell’impatto olfattivo, lo studio di impatto sarà sostituito da una relazione attestante la non significatività delle emissioni, suffragata da dati tratti dalla letteratura scientifica ovvero calcolati attraverso la caratterizzazione chimica delle emissioni odorigene.

L’autorità competente al rilascio del provvedimento di autorizzazione, nell’ambito della conferenza di servizi prevista nel procedimento autorizzatorio, invita a partecipare il Sindaco del Comune ove è ubicata l’attività, l’Azienda provinciale per i servizi sanitari (APSS), l’Agenzia provinciale per la protezione dell’ambiente (APPA) e i Sindaci dei Comuni limitrofi ove la simulazione di dispersione abbia previsto che siano interessati dal disturbo. Nella prima fase della conferenza di servizi potrà essere eventualmente invitato il gestore dell’impianto, al fine di illustrare i contenuti dello studio dell’impatto odorigeno.

In sede di conferenza di servizi viene valutato lo studio di impatto odorigeno e, verificato il rispetto dei valori di accettabilità presso i recettori, vengono stabilite le prescrizioni tecniche e/o gestionali da riportare in autorizzazione e finalizzate al massimo contenimento delle emissioni odorigene. Vengono, inoltre, fissati, i limiti di emissione degli odori, determinati in base ai valori di input utilizzati per la simulazione di dispersione in modo da garantire il rispetto dei suddetti valori di accettabilità, che dovranno essere prescritti nel provvedimento di autorizzazione.

Ai fini della valutazione del disturbo olfattivo presso i recettori, il gestore dell'impianto deve effettuare uno studio sulla dispersione dell'odore utilizzando un modello di simulazione. I valori di accettabilità del disturbo olfattivo, espressi come concentrazioni orarie di picco di odore al 98° percentile calcolate su base annuale, che devono essere rispettati presso i recettori sono i seguenti:

**per recettori in aree residenziali**

1 ou <sub>F</sub> /m <sup>3</sup> ,	a distanze > 500 m dalle sorgenti
2 ou <sub>F</sub> /m <sup>3</sup> ,	a distanze di 200÷500 m dalle sorgenti
3 ou <sub>F</sub> /m <sup>3</sup> ,	a distanze < 200 m dalle sorgenti

**per recettori in aree non residenziali**

2 ou <sub>F</sub> /m <sup>3</sup> ,	a distanze > 500 m dalle sorgenti
3 ou <sub>F</sub> /m <sup>3</sup> ,	a distanze di 200÷500 m dalle sorgenti
4 ou <sub>F</sub> /m <sup>3</sup> ,	a distanze < 200 m dalle sorgenti

In base agli esiti della simulazione modellistica ed alle valutazioni sull'accettabilità dell'impatto nei confronti dei recettori, il gestore individua i presidi ed i sistemi di trattamento degli effluenti più opportuni per ogni fonte di emissione, definisce i valori di portata di odore massimi riferibili a ciascuna di esse, in modo tale che la somma di tutte le emissioni derivanti dall'insediamento assicuri il rispetto dei valori di accettabilità, indicando altresì le modalità tecnico-gestionali necessarie a garantire e controllare il corretto funzionamento dei processi e la piena efficienza dei sistemi di abbattimento degli odori.

Per impianti già esistenti, soggetti ad autorizzazioni ambientali di competenza del Servizio Autorizzazioni e Valutazioni ambientali, la strategia di indagine è attuata per fasi; nella prima delle quali si verifica la sussistenza e l'entità delle problematiche olfattive e nella seconda vengono individuate le soluzioni tecnico-gestionali idonee a ridurre le emissioni odorigene, ovvero viene indicata la necessità di un approfondimento attraverso l'applicazione della modellistica dispersiva. Le fasi sono così articolate:

**Fase A: monitoraggio del disturbo olfattivo**

La fase A viene attivata nel caso di ricorrenti e significative segnalazioni di disturbo olfattivo da parte della popolazione al Comune. Il Sindaco del Comune raccoglie le segnalazioni e, verificato che il disturbo olfattivo segnalato non sia attribuibile ad eventi eccezionali e contingenti o che non sia possibile individuarne con certezza la provenienza, avvia un monitoraggio sistematico della percezione del disturbo olfattivo presso la popolazione residente e procede, con il supporto dell'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente (APPA) e dell'Azienda Provinciale per i Servizi Sanitari (APSS). Ove gli esiti del monitoraggio dovessero evidenziare che la durata degli episodi di disturbo olfattivo superi il 2% del periodo monitorato (15 ore/mese), si procede con la

Fase B; in caso contrario il disturbo è da considerare accettabile. Nei casi in cui la presenza di un disturbo olfattivo sia conclamata e notoria, il Sindaco può prescindere dalla fase di monitoraggio presso la popolazione richiedendo il supporto dell'APPA e dell'APSS.

Fase B: definizione delle modalità di intervento

APPA convoca una o più conferenze di servizi invitando il Servizio Autorizzazioni e Valutazioni Ambientali (SAVA), l'APSS, il Comune ove ha sede l'impianto ed i Comuni che hanno trasmesso le segnalazioni. Nella prima fase della conferenza di servizi potrà essere invitato il gestore dell'impianto. In conferenza di servizi sono presentati gli esiti del monitoraggio della fase A e sono definite le prescrizioni per la riduzione delle emissioni odorigene.

Qualora il gestore di un impianto già sottoposto alla fase B presenti una domanda di aggiornamento, contestualmente alla comunicazione di inizio del procedimento, SAVA convocherà una o più conferenze di servizi invitando APPA, APSS, il Comune ove ha sede l'impianto ed i Comuni che hanno trasmesso le segnalazioni. Nella prima fase della conferenza di servizi potrà essere invitato il gestore dell'impianto. In conferenza di servizi sono valutate le modifiche proposte dal gestore nella domanda di aggiornamento.

Nell'ambito del procedimento istruttorio di modifica dell'autorizzazione degli impianti rientranti nelle fattispecie di cui alla deliberazione della Giunta Provinciale n. 959 datata 18 maggio 2012, l'impatto odorigeno sarà valutato nella conferenza di servizi già prevista dalla stessa deliberazione. Alla conferenza sono invitati a partecipare i Comuni che hanno trasmesso le segnalazioni. In questa sede potrà essere richiesto l'aggiornamento dello studio di impatto odorigeno già presentato dal gestore. Nella prima fase della conferenza di servizi potrà essere invitato il gestore dell'impianto.

Le presenti Linee guida potranno essere aggiornate o modificate alla luce delle esperienze che saranno maturate dalla loro prima applicazione o a seguito dell'evoluzione delle conoscenze tecniche sviluppate in ambito scientifico e produttivo o presso altri enti territoriali.

## 4 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, dalle condizioni meteorologiche e dalle 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 [29]. 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.

### 4.1 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 [30].

I diversi strati sono suddivisi in base all'andamento del profilo verticale della temperatura (descritto tramite il gradiente termico  $dT/dz$ ) 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  $6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ . Tale calo è dovuto sia al fatto che un volumetto di aria, salendo diabaticamente, si raffredda perché aumenta la propria energia potenziale gravitazionale, 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. 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 spesso 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 a 0 °C. Al contrario, la temperatura minima della 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 nella 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 ( $N_2$ ) e ossigeno ( $O_2$ ) che si dissociano (foto-dissociazione) [31].

La causa predominante della dinamica atmosferica è rappresentata dalla radiazione solare e dal riscaldamento terrestre. L'energia radiante che raggiunge il pianeta non è però costante, e questo si traduce in differenze di pressione e temperatura [30]. I moti atmosferici seguono le leggi fisiche di conservazione della massa, della quantità di moto e dell'energia; le forze in gioco sono di tipo gravitazionali e di gradiente di pressione e di attrito. Dal momento, poi, che la terra ruota attorno al proprio asse, si devono tener conto anche delle forze "apparenti", dette anche "inerziali": di Coriolis

e 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.

#### 4.2 GRADIENTE TERMICO ADIABATICO E STABILITÀ ATMOSFERICA

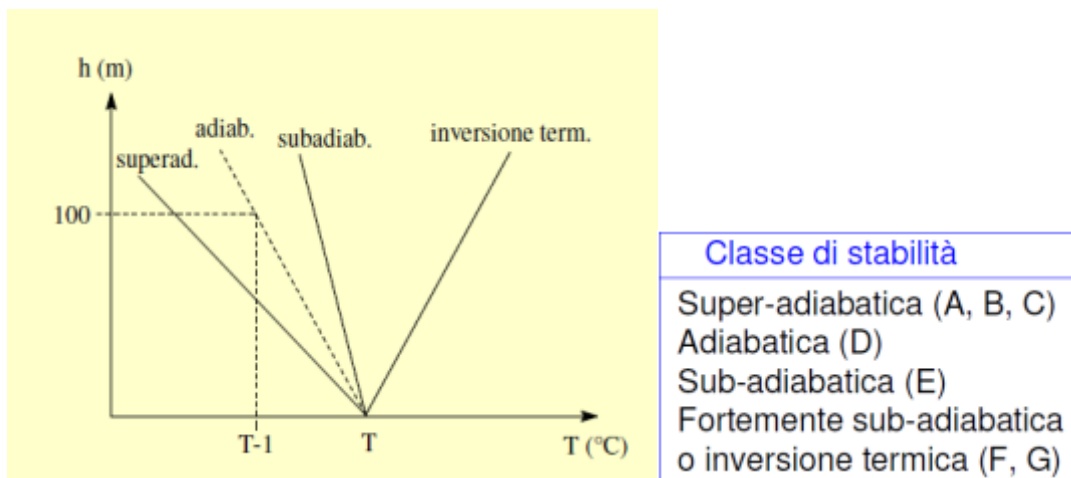
La dispersione degli inquinanti in aria è in buona parte determinata dalle condizioni di stabilità o instabilità dell'atmosfera, che dipendono, in ultima analisi, dall'andamento della temperatura dell'aria con la quota. Si supponga di isolare un volume infinitesimo d'aria (che chiameremo "particella adiabatica") caratterizzato da valori propri 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 [29,30] :

- 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  $1^\circ\text{C}$  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 [29,30] :

- $\Gamma > \Gamma'$  → *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*);
- $\Gamma = \Gamma'$  → *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*);
- $\Gamma < \Gamma'$  → *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 4.1*) [32].



**Figura 4.1. Classi di stabilità atmosferica**

### 4.3 LE INVERSIONI TERMICHE

L'inversione termica rappresenta un andamento anomalo della temperatura con la quota. Normalmente la temperatura dovrebbe decrescere. Si verifica, talvolta, che invece di diminuire, la temperatura aumenti. Siamo di fronte ad una inversione termica. È possibile distinguere due tipi di inversione:

- In quota : caratterizzata da una variazione del normale andamento della temperatura che si verifica ad una quota intermedia della troposfera. Partendo dal suolo, la temperatura

comincia a decrescere con il suo solito andamento. Giunti ad una determinata altezza, si verifica l'anomalia, ovvero la temperatura, improvvisamente, comincia ad aumentare, dando inizio all'inversione termica in quota. La quota dove inizia il fenomeno, si chiama marginale inferiore dell'inversione. La causa dell'inversione è da ricercarsi nel riscaldamento specifico di quello strato d'aria (dovuta, ad esempio, alla subsidanza, ovvero alla discesa di aria da quote superiori che riscalda gli strati d'aria inferiori per compressione).

- Al suolo : si verifica quando, partendo dalla superficie terrestre, la temperatura anziché diminuire, aumenta. Questo fenomeno avviene fino ad una certa quota, alla quale tale fenomeno cessa e la temperatura riprende a comportarsi normalmente. Questa quota prende il nome di marginale superiore dell'inversione.

Una delle cause di tale fenomeno va ricercata nel rapido raffreddamento notturno degli strati atmosferici più vicini al suolo, che perdono calore con la stessa velocità con la quale l'hanno acquistato durante il giorno (irraggiamento notturno). Per questo motivo, l'aria vicina al suolo, risentendo del raffreddamento del suolo, finisce per essere più fredda di quella posta negli strati immediatamente superiori. Con cielo sereno ed assenza di vento, la possibilità che si verifichi, di notte, una inversione diventa molto elevata, poiché l'assenza di nubi contribuisce alla dispersione del calore verso lo spazio.

Il fenomeno dell'inversione è legato al rapido raffreddamento della superficie su cui sosta l'aria, quindi il luogo deputato a rapide variazioni di temperatura non può essere il mare, dove le variazioni di temperatura esistono, ma sono molto lente e graduali. Per tale motivo l'inversione a basse quote, il più delle volte, si verifica sulla terraferma.

Tutte le volte che, osservando fumi emessi dai camini di fabbriche, si nota che questo fumo anziché fluire verso l'alto, ha un andamento molto inclinato e sembra quasi bloccarsi ad una determinata quota, si è verificata un' inversione, e la quota a cui il fumo sembra fermarsi rappresenta il margine superiore dell'inversione. In condizioni normali, il fumo fluirebbe quasi verticalmente in assenza di vento, o, comunque, tenderebbe a disperdersi verso l'alto.

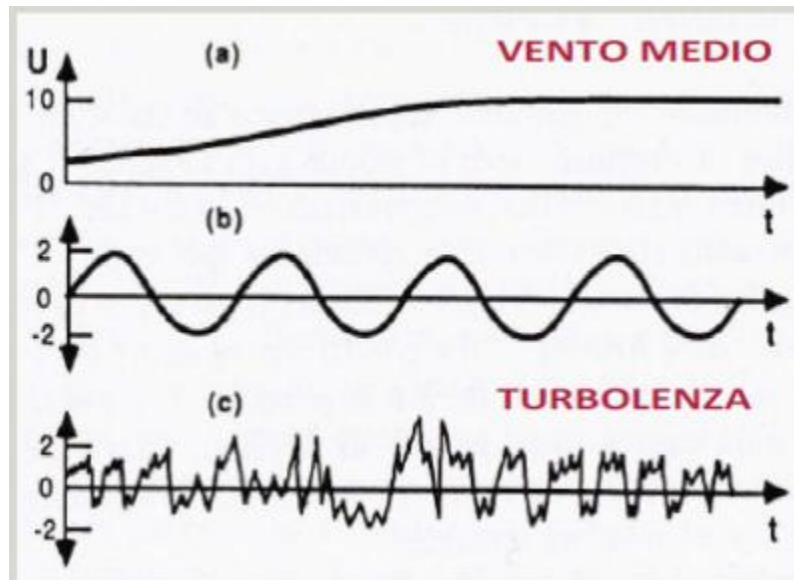
#### **4.4 CARATTERISTICHE DELLO STRATO LIMITE TERRESTRE (PBL)**

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 [30] :

- 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, cioè il vento  $U$ , può essere suddiviso in tre componenti principali: vento medio (a), onde (b) e turbolenza (c). Nella *Figura 4.2* sono rappresentate le tre componenti isolate, ciascuna delle quali può esistere separatamente o in parziale presenza delle altre [33].



**Figura 4.2.** (a) vento medio con scala in minuti, (b) onde, (c) turbolenza con scala in secondi.

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 share*). 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 ed inquinanti, generalmente, si considera dominata orizzontalmente dal vento medio e verticalmente dalla turbolenza [30].

La turbolenza è definita come una condizione di flusso irregolare, in cui varie grandezze mostrano fluttuazioni casuali sia nel tempo, sia 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 effetto dell’ 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*”).

#### **4.5 EVOLUZIONE GIORNALIERA DEL PBL**

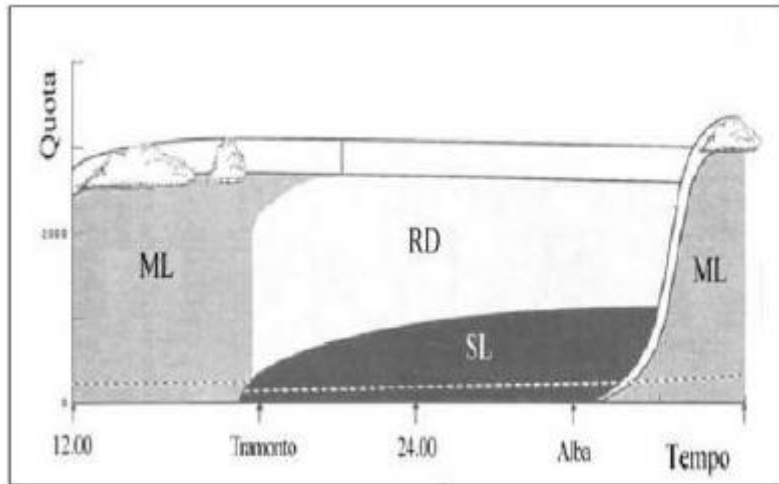
L’altezza complessiva della troposfera è di circa 11 Km dal suolo; il PBL occupa la porzione più bassa, con altezza complessiva fino ad un massimo di 2 Km nelle ore diurne e soleggiate; infatti tale porzione di troposfera può variare durante il giorno e da giorno a giorno; il resto è atmosfera libera. 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 sospingono 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 [19]. 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 [30]:

- 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 mezz’ora circa 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, anche, 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 4.3* è schematizzato il passaggio da uno strato all’altro durante 24 ore.

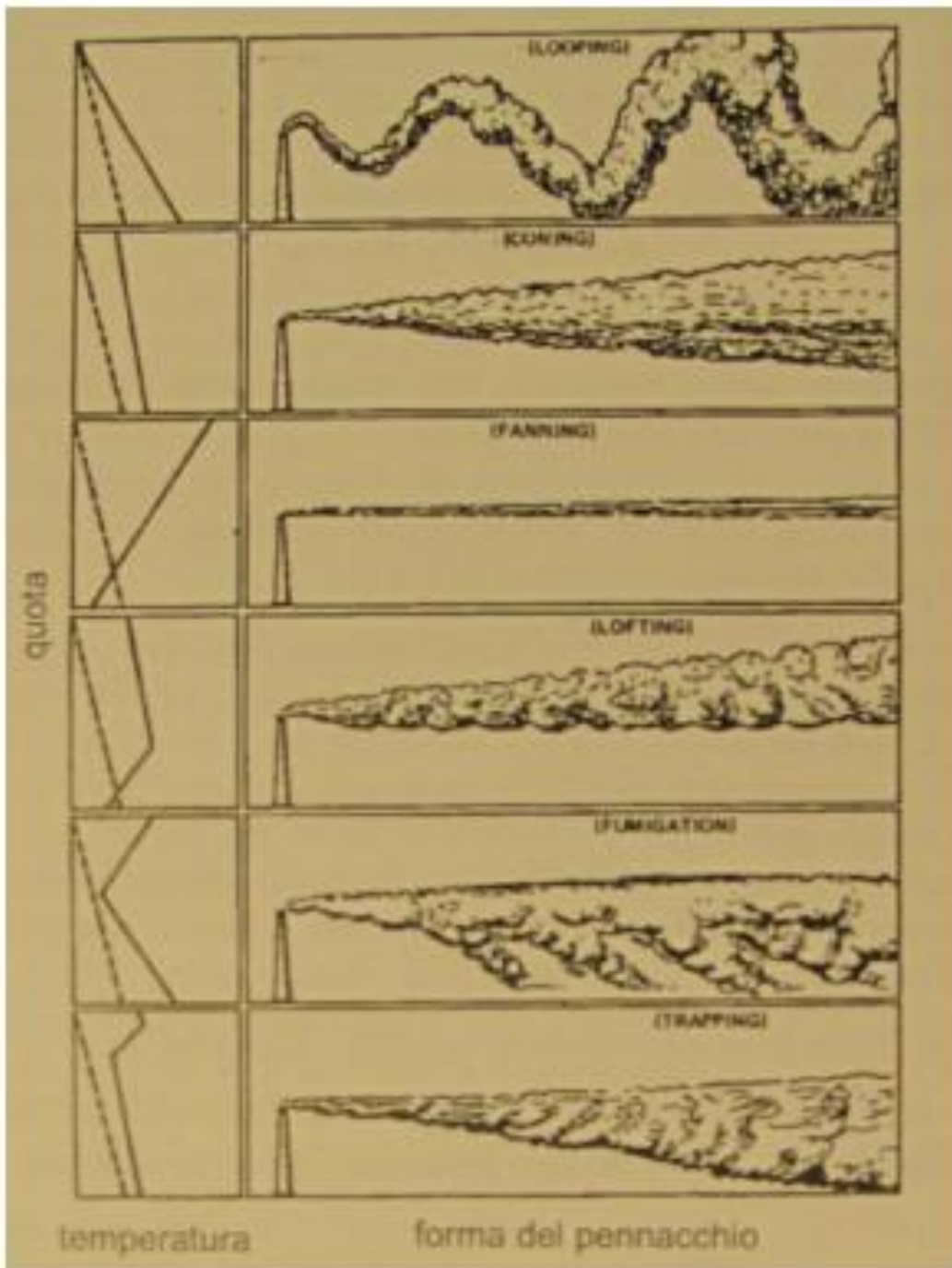


**Figura 4.3. Evoluzione giornaliera del PBL**

#### **4.6 DISPERSIONE DEI PENNACCHI NEL PBL**

In *Figura 4.4* 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 [30]:

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 (“*lofting*”);
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 4.4. Struttura dei pennacchi in base alle condizioni atmosferiche**

## 5 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 alla valutazione 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 [34].

I modelli rappresentano potenti strumenti per [35] :

- 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.

## 5.1 DATI DI SIMULAZIONE MODELLISTICA

I modelli adottati a scala locale e urbana devono essere adatti al trattamento di inquinanti primaria supporto della valutazione della qualità dell'aria in aree urbane, metropolitane o industriali, dove la qualità dell'aria risulta determinata principalmente dalle fonti di emissioni 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.) [34].

### 5.1.1 Dati di input

I principali dati in ingresso relativi al territorio riguardano [36] :

- 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 GIS.

Secondo le raccomandazioni della World Meteorological Organization (WMO) i principali dati in ingresso relativi alla meteorologia consistono in [36] :

- 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 atmosferica, 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 simulazioni 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 [26].

I modelli di dispersione, oltre ai dati di base citati sopra, necessitano di altre variabili meteorologiche acquisibili con strumentazione avanzata o stimate da opportuni preprocessori meteorologici, quali:

- altezza dello strato di rimescolamento;
- categoria di stabilità atmosferica e/o più compiutamente le tre componenti della turbolenza;
- 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).

### ***5.1.2 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:

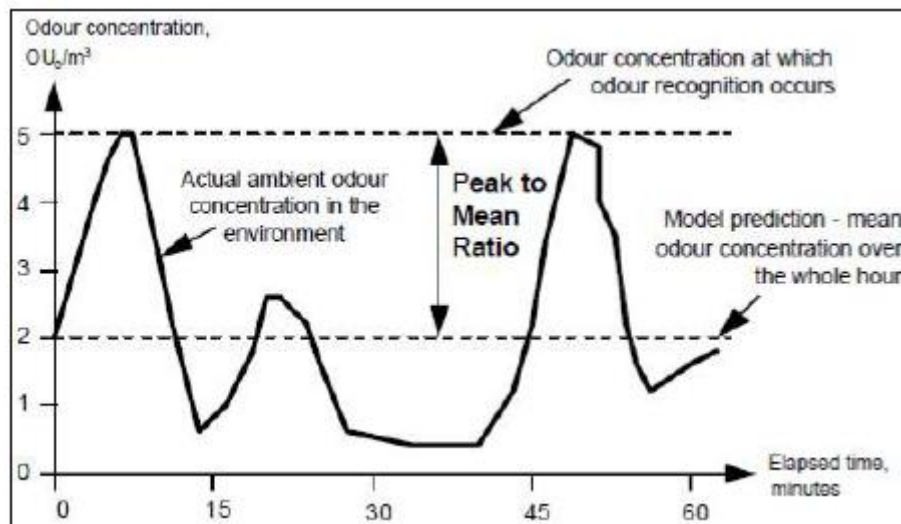
Simulazione Short Term, in cui viene restituito un valore di concentrazione per ogni record di dati meteorologici di input, ad esempio tutti i valori orari in un anno in corrispondenza di recettori sensibili;

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 umana 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 [37]. In *Figura 5.1* 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 5.1. Predizione dell'odore secondo il modello di dispersione comparato con la realtà [38]*

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  $OU/m^3$ , significa che la concentrazione di odore simulata al suolo, avvertita presso quel recettore, risulta inferiore a 3  $OU/m^3$  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.

## 5.2 RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI RISULTATI

Dall'elaborazione matematica delle informazioni in ingresso al modello si perviene ai 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. Quella 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:

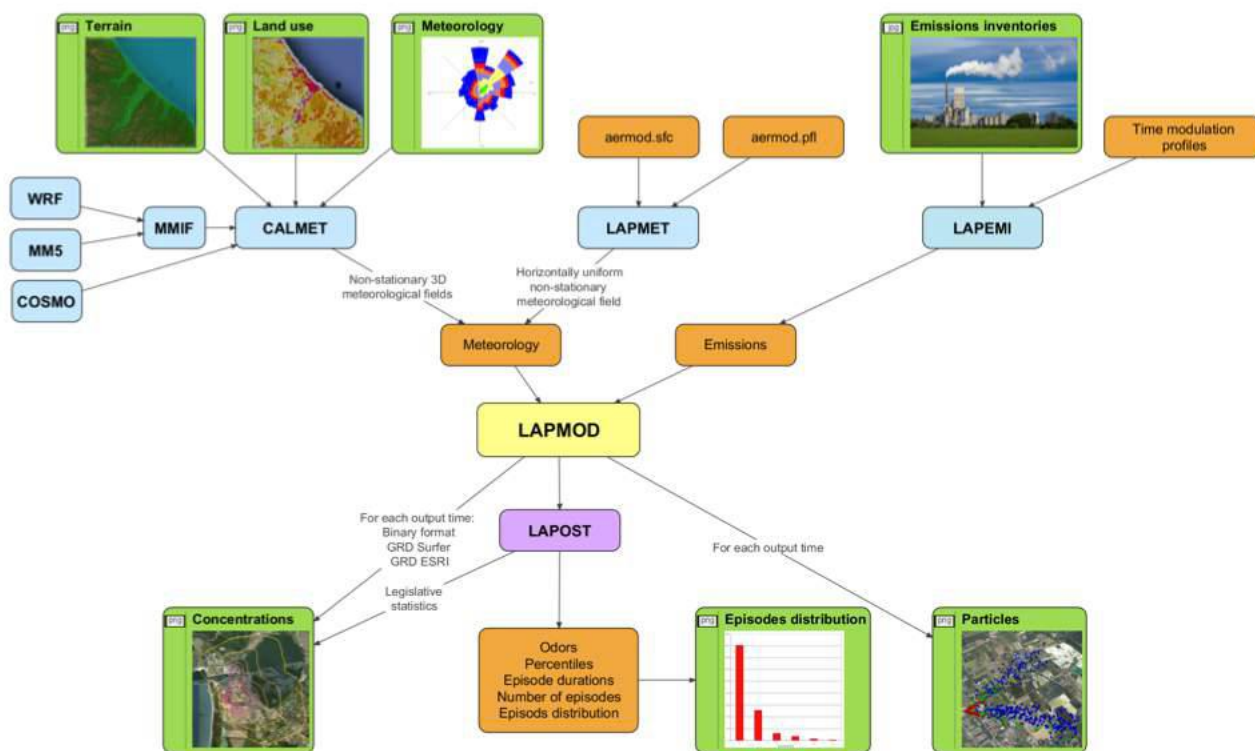
- serie temporali per recettore o punto griglia;
- istogrammi o distribuzioni di frequenza per recettore o punto griglia;
- mappe istantanee aventi passo temporale coincidente con quello del modello o cumulative (in termini di concentrazione) di più passi temporali.

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. E' da ricordare, però, che l'ulteriore elaborazione dell'informazione può modificare lo scarto fra dato simulato dal modello di dispersione e dato misurato [34].

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

Il software utilizzato in questo lavoro di tesi è LAPMOD, sviluppato dalla Enviroware srl [39].

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 5.2. Caratteristiche del sistema modellistico LAPMOD**

### 5.3.1 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 micro meteorologico, 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 [40].

### 5.3.2 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 (come la rugosità o la categoria di occupazione di suolo) necessarie per stimare i flussi di deposizione provengono direttamente da CALMET [41].

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 (velocità media del vento,  $u$ ) viene stimato mediante un modello meteorologico o mediante misure;
  - la fluttuazione turbolenta ( $u'$ ) viene calcolata per ciascuna particella mediante l'equazione stocastica 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  $d\xi_j$ );

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

- 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:

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

$\varepsilon$  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:

1. Multisorgente (puntuali, puntuali buoyant, rettangolari, lineari, box, sfere, poligoni arbitrari)
2. Multisostanza (inerte, radioattiva, odore)
3. Multifase (gas, aerosol)
4. Calcolo della deposizione (secca e umida)
5. 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 5.1*), 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, anche, calcolare correttamente il peak-to-mean ratio secondo la formulazione originale di Smith [42] e applicando la funzione di attenuazione esponenziale di Mylne [43]. La sensazione di odore dipende dalla concentrazione istantanea della sostanza odorigena e non dal valore di concentrazione mediato su tempi lunghi. Smith [42] 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  $t_p = 5s$ , quanto la durata di un respiro, si basa sulle misure di Mylne [43]. 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 [43] 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 la media pesata sugli spostamenti della particella nel tempo di volo complessivo

$$T_L = \sum_i \Delta t_i$$

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 [38, 39].

### 5.3.3 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, i massimi della media mobile di 8 ore [41].

## 6 STRUMENTI E METODI DI CAMPIONAMENTO

### 6.1 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, sia in fase di progetto, in particolare per talune tipologie di attività.

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, Odour Emission Rate) 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, tramite 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:

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 nella separazione ed identificazione dei singoli composti, specie 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*. 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 sia 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.

(Per maggiori approfondimenti sulle misure di tipo senso-strumentali, naso elettronico, si rimanda al capitolo 7 di questa trattazione).

## **6.2 IL CAMPIONAMENTO**

Al fine di determinare le emissioni dalle sorgenti odorigene 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 odorigene 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 [45].

Entrambi i fattori di criticità descritti risultano amplificati nel caso della misura degli odori. Infatti, le sorgenti odorigene, 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 odorigeni, 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 [46].

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):

### ***6.2.1 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;

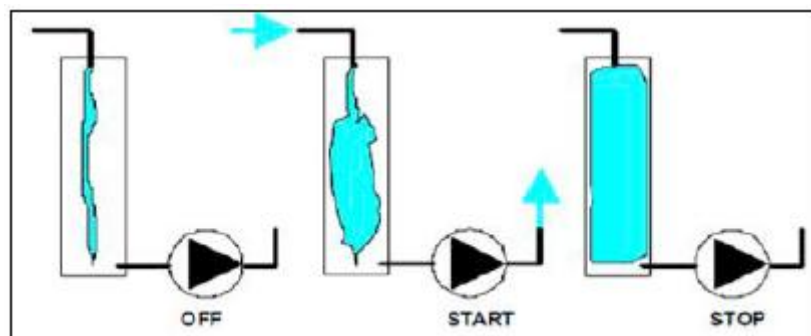
altrimenti, il prelievo deve essere condotto creando una depressione; a tale scopo il sacchetto deve essere inserito in un opportuno contenitore. L'aria all'interno del contenitore viene aspirata mediante una pompa. A causa della depressione così realizzata l'aeriforme è aspirato all'interno del sacchetto di campionamento in maniera indiretta (Figura 6.1). 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 6.1. Schema di campionamento con pompa a depressione**

### 6.2.2 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 ( $m^3/s$ ).

### 6.2.3 Sorgenti areali

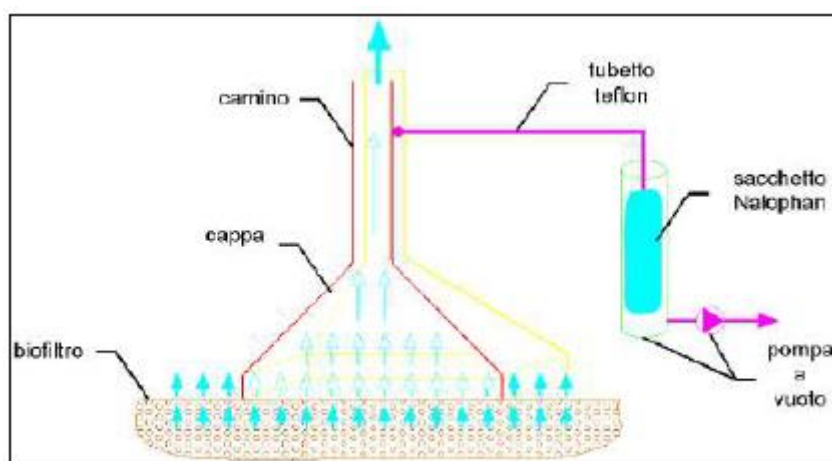
Nel caso di sorgenti areali si hanno tipicamente delle emissioni da superfici solide o liquide piuttosto estese. Si possono distinguere due diversi tipi di superfici emissive areali:

- 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  $50 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ .

#### Sorgenti areali attive

In questo caso per il campionamento si utilizza una cappa "statica" (Figura 6.2) 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 6.2. 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. È 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 complicata, in quanto è difficile misurare una concentrazione di odore rappresentativa, e soprattutto determinare una portata diaria ben definita. Per queste ragioni, al fine di valutare l'OER, è necessario impiegare 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 6.3).

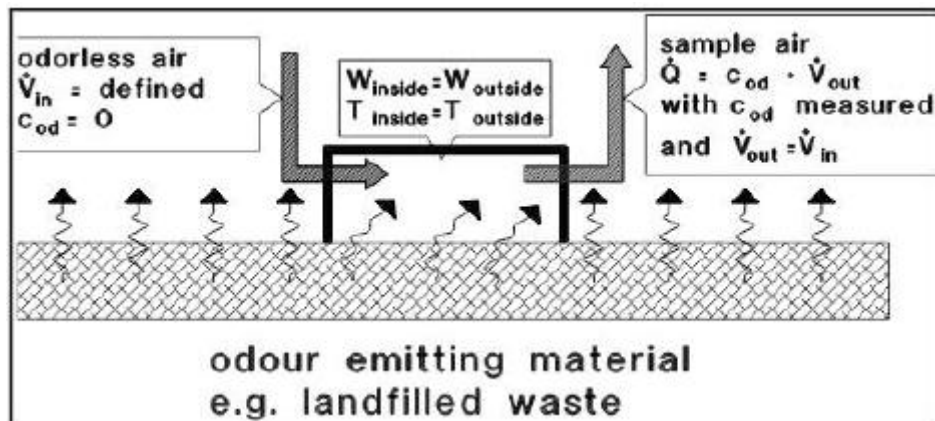


Figura 6.3. Schema di funzionamento di una cappa per il campionamento da superfici areali passive

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 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

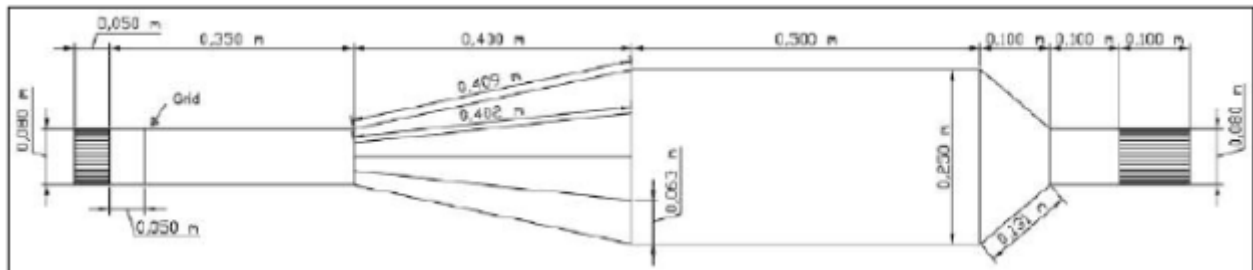
In particolare, per i liquidi è stato dimostrato che l'esponente n è pari a 0,5 [15,35].

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) [8,35].

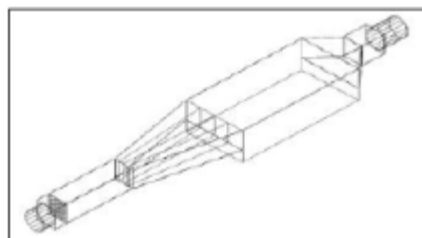
Al di sopra della superficie emissiva avviene un trasferimento di massa convettivo. Gli odoranti si mescolano alla corrente gassosa e fuoriescono dal condotto di uscita dal quale viene prelevato il campione. Il vantaggio derivante dall'utilizzo di questa tecnica è che la misura è ottenibile in modo relativamente semplice ed economico. Per contro, 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. È 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 6.4* è riportata la pianta di una wind tunnel, con le caratteristiche dimensionali della stessa e in *Figura 6.5* è riportata la stessa cappa in vista tridimensionale [37].



*Figura 6.4. Esempio di pianta di una wind tunnel*



*Figura 6.5. 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 scarica): 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 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).

## **6.3 STRUMENTI COMUNI PER L'ANALISI**

### ***6.3.1 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 [41,42]. 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) identifica specie diverse, 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 ionizzazione e frammentazione dello ione molecolare, per via chimica o mediante un fascio di elettroni, di ciascun composto in uscita dalla colonna di separazione: una volta formati, i frammenti cationici 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 [12].

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.

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 [48].

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

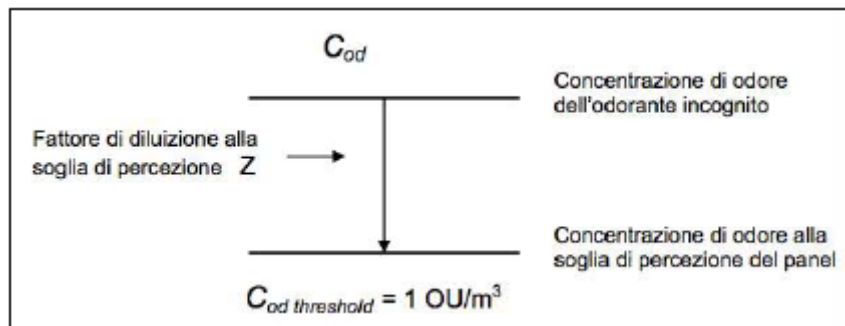
### 6.3.2 Olfattometria dinamica

L'olfattometria dinamica è una tecnica sensoriale basata sull'impiego della sensibilità olfattiva di un panel di valutatori, attraverso cui è possibile ottenere 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 [49].

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 [6]. 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 massimo fattore di diluizione che consente la 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 [49]. 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  $C_{od \text{ threshold}} = 1 \text{ OU/m}^3$ , per cui la concentrazione di odorante nel campione originale sarà determinata mediante la semplice relazione:

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



**Figura 6.6. Principio del metodo olfattometrico**

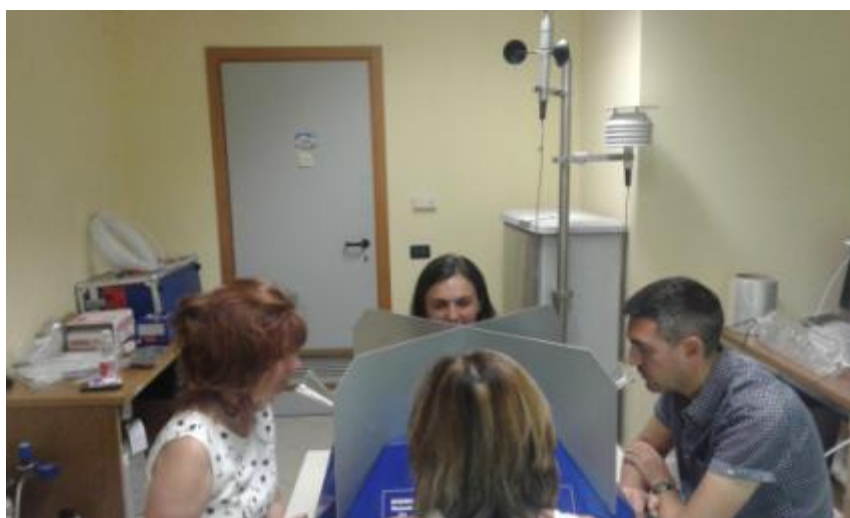
La relazione che collega la concentrazione in massa del gas di riferimento *n-butanolo* a quella di qualunque altro odorante in  $OU/m^3$  è valida solo alla soglia di percezione e, per questo, l'analisi olfattometrica procede alla presentazione di varie diluizioni del campione originale fino alla soglia 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 [49]. In questo senso (e non in senso strettamente statistico) si può ritenere il panel rappresentativo della sensibilità olfattiva media della popolazione [50]. Ogni individuo che abbia una soglia media personale per *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) [10].

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 dalle 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 panelist 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. In pratica le tecniche sensoriali, o di "olfattometria", consistono nel presentare l'aria odorosa, diluita con aria deodorizzata, a un panel di persone selezionate al fine di registrare le sensazioni generate dall'esposizione all'odore, come mostrato in *Figura 6.7*.

Tale misura ha principalmente l'obiettivo di determinare la concentrazione di odore sfruttando l'olfatto umano come sensore. Contrariamente all'analisi chimica, quella olfattometrica non fornisce l'identificazione di una sostanza o di un gruppo di sostanze, bensì le "unità di odore" della miscela gassosa con le quali è possibile "quantificare una sensazione" creando così un metodo per misurare oggettivamente (per quanto tecnicamente possibile) la reale molestia olfattiva. Tramite l'elaborazione delle risposte del panel è possibile arrivare al numero di diluizioni necessarie affinché l'odore non venga più percepito e, di qui, si giunge alla concentrazione, in unità di odore al metro cubo, del campione in esame (UO/m<sup>3</sup>).

A titolo di esempio, un campione di aria che necessita di essere diluito 500 volte per non essere percepito da almeno il 50% del panel, avrà una concentrazione di odore pari a 500 UO/m<sup>3</sup>.



*Figura 6.7. Panel durante l'analisi olfattometrica (foto scattata presso Arpae sezione di Modena per l'analisi dei campioni di questo lavoro)*

### **6.3.3 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 [42,46].

## **7 SISTEMA OLFATTIVO ELETTRONICO ('NASO ELETTRONICO')**

Il Sistema Olfattivo Elettronico ("Naso Elettronico") è uno strumento progettato per rilevare e riconoscere miscele di gas e di composti volatili. L'applicazione di sistemi elettronici nel campo della misura e caratterizzazione di odori è un obiettivo di rilevanza economica e scientifica. I sistemi attuali di rilevazione e misura degli odori basati su panel di esperti supportati da sistemi di analisi chimica sono costosi e richiedono tempi di analisi lunghi; è quindi di grande interesse lo sviluppo di sistemi a costi contenuti che siano in grado di effettuare tali rilevazioni sul campo in tempo reale. Questo sistema elettronico elimina anche gli svantaggi legati alla presenza di panel umani, tra i quali, per esempio, la soggettività del giudizio (cioè la variabilità individuale) e l'adattamento (cioè la diminuzione della sensibilità durante esposizioni prolungate a un odore) [52]. La definizione di "naso elettronico" risale al 1994, ad opera di J. Gardner e P. Bartlett, che lo definiscono come: "strumento che si compone essenzialmente di un array di sensori chimici a bassa selettività e di un sistema di pattern recognition, capace di riconoscere odori semplici e complessi" [53].

In un naso elettronico ci sono tipicamente da 5 a 20 sensori [53]; la loro sensibilità è sovrapposta, ma, a causa del numero così piccolo di sensori, l'entità della sovrapposizione, e lo spettro delle sensibilità sono molto più limitati rispetto al sistema dei recettori nel naso umano, in numero di circa 10 milioni. Gli schemi di funzionamento sono, invece, comparabili con il sistema olfattivo umano.

Il principio di funzionamento dei sistemi olfattivi elettronici si basa sulla elaborazione dei segnali elettrici prodotti da un insieme di diversi sensori (sensor array) in presenza della miscela gassosa da analizzare.

### **7.1 ARCHITETTURA DEL NASO ELETTRONICO**

Un sistema naso elettronico consiste tipicamente di una matrice multisensore, un'unità di elaborazione simile ad una rete neurale artificiale, un software con algoritmi digitali di riconoscimento, e un database di riferimento [48–50].

È costituito, in particolare, dai seguenti moduli:

1. sistema di introduzione del flusso gassoso (pompa pneumatica, filtri, valvole);
2. camera di misura contenente l'array di sensori chimici sensibili al flusso gassoso;
3. sistema di acquisizione e trattamento dei dati (processore, memoria, software per l'elaborazione delle misure, display).

L'elemento fondamentale è sicuramente l'array di sensori chimici, che genera la risposta del naso elettronico. È proprio l'associazione tra l'array e le tecniche di riconoscimento degli odori che costituisce il fondamento e l'originalità del naso elettronico rispetto alle altre strumentazioni

presenti, perché il contatto o adsorbimento delle sostanze volatili sulla superficie del sensore è “*conditio sine qua non sensing*” [56].

Tra i diversi sensori chimici attualmente esistenti ed analizzati dalla letteratura scientifica, quelli maggiormente idonei al funzionamento del naso elettronico sono semiconduttori ad ossido di metallo (MOS), mostrati in *Figura 7.1*.



**Figura 7.1. Sensori di tipo MOS**

I sensori ad ossido di metallo sono i più diffusi nelle applicazioni ambientali. Questi sensori sono stati sviluppati a partire dagli anni '60 da N. Taguchi e Seyema [57] e sono ormai prodotti su larga scala in tutto il mondo. Le loro prime applicazioni riguardavano le tematiche della sicurezza dei lavoratori ed in, particolare, il rilevamento di incendi e fughe di gas (applicazioni sia domestiche che industriali) [58]. Attualmente, le principali società che producono questa tipologia di sensori sono: Figaro Inc, FIS, Citytech, UST, MICS e Microsens.

I sensori chimici, rispondono favorevolmente alla maggior parte dei criteri di scelta per l'utilizzazione nel settore ambientale, quali [59] :

- robustezza (relativa alla loro procedura di fabbricazione);
- buona resistenza alla corrosione dei gas e all'umidità;
- durata: più di 10 anni dal momento del loro primo utilizzo in campo;
- buona stabilità;
- buona sensibilità a diversi gas combustibili;
- rapidità di risposta;
- risposta alla concentrazione più lineare rispetto i sensori polimerici

I loro principali inconvenienti, invece, sono relativi a [60] :

- potenza di consumo elevata (è necessario riscaldare il sensore);
- alta sensibilità alla temperatura;

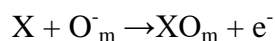


- bassa selettività.

La variazione di conducibilità dell'ossido in presenza di composti organici volatili (VOC), rispetto al valore assunto dalla conducibilità stessa in condizioni di riferimento, è dovuta a una reazione irreversibile tra l'odorante e le specie di ossigeno adsorbite sulla superficie del semiconduttore come  $O^-$  e  $O^{2-}$ . La specie più reattiva è l' $O^-$ , che si forma quando l'ossigeno viene adsorbito legandosi alle vacanze del semiconduttore secondo la seguente equazione:



Nei semiconduttori di tipo  $n$ , l'adsorbimento degli ioni  $O^-$  crea una regione di carica spaziale sulla superficie del MOS (ad esempio,  $SnO_2$ ) e una barriera di potenziale sui bordi, che si oppone alla conduzione. Lo spessore della regione di carica spaziale dipende dalla concentrazione di ossigeno adsorbita, che dipende a sua volta dalla concentrazione di ossigeno nel gas in cui è posto il sensore. Perciò, quando il sensore è immerso nell'aria la concentrazione di ossigeno è elevata e il materiale è caratterizzato da una resistenza elevata. D'altra parte, quando il sensore viene esposto a un gas  $X$  riducente, questo reagisce con le specie di ossigeno adsorbite  $O^-_m$  come segue:



Questa reazione consuma ossigeno e libera gli elettroni che si trovavano legati agli ioni di ossigeno, abbassando la resistenza del sensore. Viceversa, se il sensore è esposto a un gas ossidante, come il biossido di azoto ( $NO_2$ ), la resistenza aumenta, poiché il gas viene adsorbito sotto forma di ioni negativi sulla superficie del semiconduttore. La variazione della resistenza è perciò dovuta all'adsorbimento del gas ossidante, assumendo che la quantità di ossigeno adsorbito resti costante. Esistono diversi metodi per modificare la selettività e la sensibilità dei sensori ad ossido di stagno. Il range ottimale di temperatura a cui vengono utilizzati questi sensori è compreso tra i  $300^\circ C$  e  $550^\circ C$ . Ciò produce un sensibile miglioramento della loro risposta sia in termini di prontezza che di sensibilità [61].

Ciascuna specie chimica ha una diversa temperatura ottimale di ossidazione e questo giustifica come al variare della temperatura operativa possano essere modificate sia la sensibilità che la selettività del sensore.

### Polimeri conduttori

Tra i sensori chimici a variazione di conducibilità vanno ricordati anche quelli basati su polimeri conduttori, che operano normalmente a temperatura ambiente [62].

I polimeri conduttori (CPs) sono sistemi- $\pi$  organici con strutture di catene coniugate; tali polimeri presentano una struttura basata su uno scheletro di carbonio in cui ciascun atomo forma legami  $\sigma$  con i due atomi adiacenti mediante sovrapposizione di orbitali ibridi  $sp^2$  e un terzo legame  $\sigma$  con un orbitale  $1s$  nel caso dell'idrogeno, o con l'orbitale di un sostituente. Il restante orbitale ( $p_z$ ) di valenza di ogni

atomo di carbonio forma un legame  $\pi$  con un atomo di carbonio adiacente; ciò comporta che gli elettroni  $\pi$  non siano confinati su due soli atomi di carbonio, ma delocalizzati sull'intero sistema molecolare coniugato. Questa delocalizzazione elettronica fornisce la mobilità le catene polimeriche [63].

## 7.2 PRINCIPALI FASI DI PROCESSO

L'originalità del naso elettronico rispetto alle altre strumentazioni di misura di settore è la sua capacità di riconoscere ed identificare miscele gassose complesse senza passare per un'analisi dettagliata della composizione.

Il principio di funzionamento del naso elettronico consiste nella trasduzione in segnale elettrico e/o ottico dell'interazione tra composti volatili e i sensori e nella sua interpretazione tramite modelli basati su metodi statistici. La creazione dei modelli consiste nello stabilire una relazione tra il vettore caratteristico delle risposte e la classe conosciuta del campione o la sua concentrazione.

Il principale obiettivo, infatti, del naso elettronico è di predire l'appartenenza di un campione sconosciuto ad una classe conosciuta (tecnica di classificazione) e/o di determinare la sua grandezza: concentrazione (tecniche di regressione).

Il naso elettronico non è, dunque, una strumentazione analitica che identifica e quantifica ciascun composto di una miscela gassosa, ma uno strumento di classificazione della miscela nel suo insieme che ingloba la composizione chimica della stessa, con o senza odore [53].

Il naso elettronico è uno strumento in grado di caratterizzare, memorizzare e quantificare una miscela gassosa nel suo insieme.

Per poter effettuare tutto ciò si distinguono 2 fasi fondamentali, a loro volta costituite da diversi step (*Figura 7.2*). In particolare, si ha una fase fondamentale, preliminare di creazione del modello, e solo successivamente il naso elettronico è in grado di riconoscere un odore che sia già nel suo archivio e, mediante l'associazione con misure olfattometriche, tradurre la misura in concentrazione di odore [64].

Prima dell'inizio dell'attività di monitoraggio risulta indispensabile definire l'obiettivo dell'utilizzo del naso elettronico, a seconda della necessità di creare solo un modello qualitativo (per la classificazione degli odori) oppure un modello quantitativo (per stimare la concentrazione di odore).

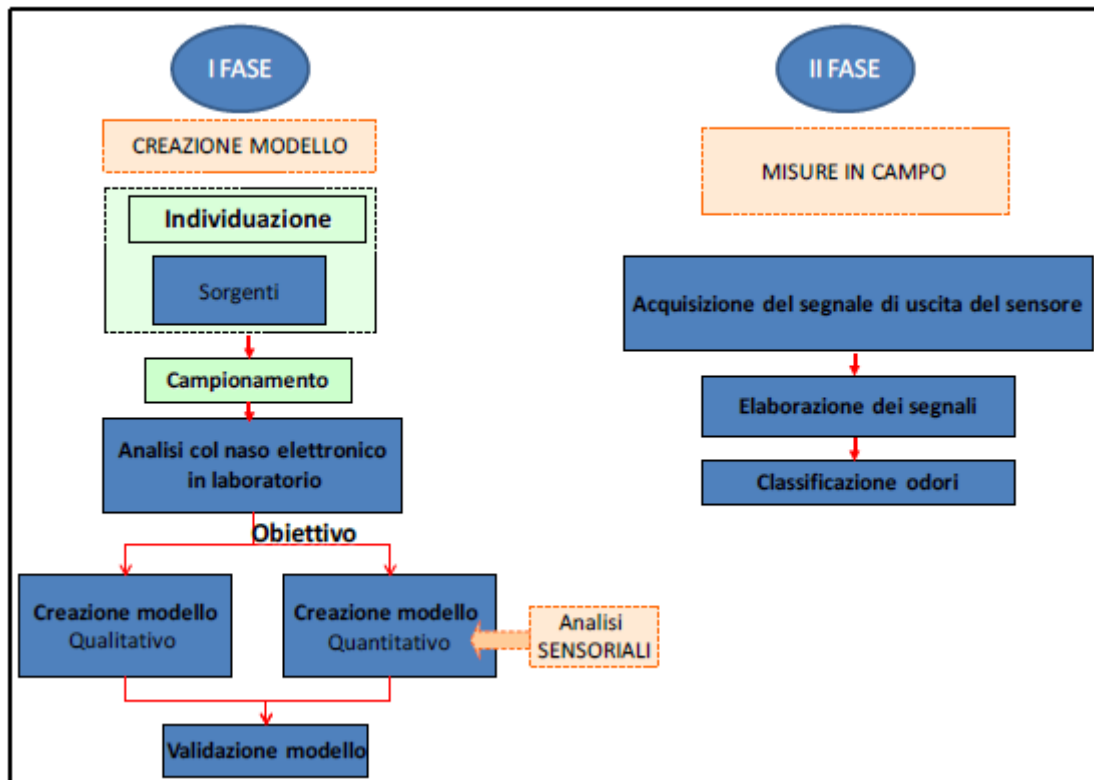


Figura 7.2. Fasi di processo del naso elettronico

Il sistema di identificazione degli odori è basato sul riconoscimento dell'impronta (pattern recognition) costituita dall'insieme delle risposte di tutti i sensori esposti alla miscela da esaminare. Come il naso umano, il naso elettronico fornisce la sua cosiddetta "impronta olfattiva" e successivamente la confronta con un archivio di dati di riferimento che devono essere stati precedentemente memorizzati. Prima del suo utilizzo, dunque, è necessario effettuare una fase di "addestramento" (*training*) che consiste nella creazione di un archivio (database) che lo strumento utilizzerà successivamente per effettuare i confronti [65].

L'addestramento è molto importante per il naso elettronico e rappresenta una fase delicata.

La criticità di tale fase dipende da diversi fattori: innanzitutto deve essere verificata la capacità del sistema di discernere le diverse fonti emissive tramite le diverse impronte multisensoriali corrispondenti, cioè che il particolare gruppo di sensori prescelto fornisca risposte differenti per tutte le emissioni presenti; in ogni caso, soltanto le fonti che sono state usate durante l'addestramento potranno poi essere riconosciute nel monitoraggio; quindi, prima di tutto devono essere individuate con sicurezza tutte le emissioni potenzialmente presenti nel successivo monitoraggio [37].

L'addestramento consiste, nello specifico, nel sottoporre al naso elettronico campioni gassosi di qualità olfattiva nota a diversi valori di concentrazione di odore ed istruire il software di elaborazione affinché il naso elettronico possa:

- classificare qualitativamente (riconoscere) l'aria analizzata, attribuendole una specifica classe olfattiva;
- stimare la concentrazione di odore dell'aria analizzata, espressa in unità odorimetriche al metro cubo (OU/m<sup>3</sup>).

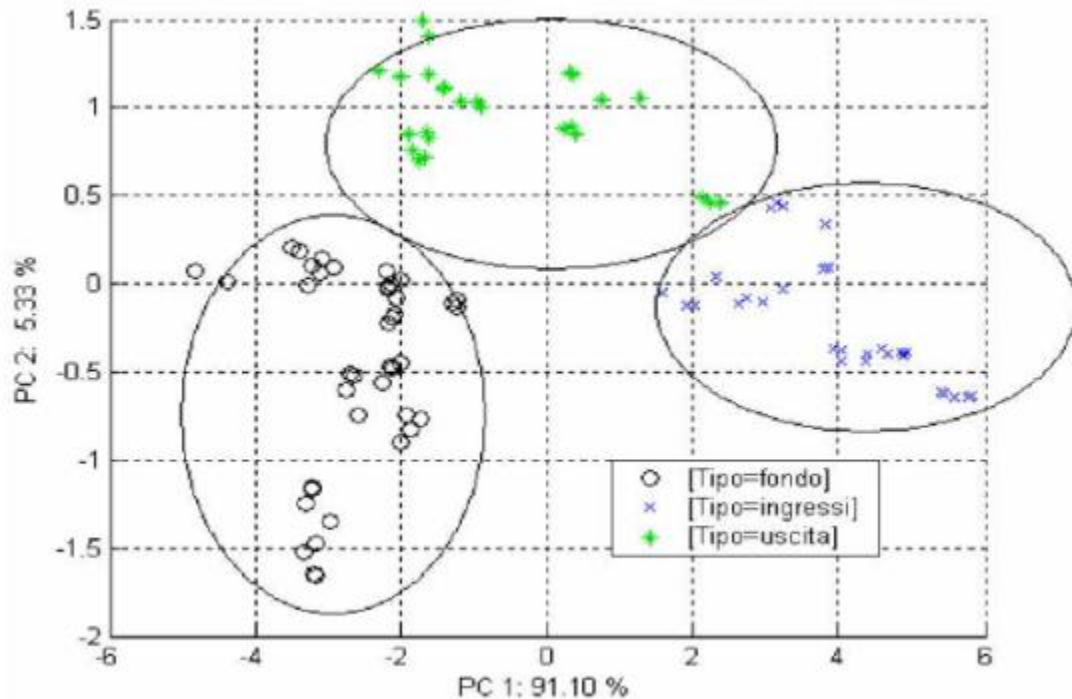
Per il riconoscimento qualitativo dell'aria odorigena è necessario far analizzare al naso elettronico i tipi di qualità olfattive a cui l'aria da analizzare durante il monitoraggio in campo potrebbe appartenere. È necessario prelevare dei campioni aeriformi odorigeni presso tutte le potenziali sorgenti emissive di odore presenti sul territorio. L'addestramento quantitativo, invece, del naso elettronico consiste nell'analisi di più campioni gassosi per ciascuna classe olfattiva a diversi livelli di concentrazione di odore. Le misure di concentrazioni odorigena vengono effettuate tramite olfattometria dinamica in accordo alla EN13725:2003.

Tali analisi sono necessarie al fine di fornire allo strumento un database utile alla determinazione della concentrazione di odore dell'aria analizzata, tramite interpolazione sui dati presenti nel database dello strumento. Per fare ciò, è necessario disporre di campioni appartenenti ad una medesima classe olfattiva ma aventi livelli di concentrazione di odore. Tali campioni sono ottenuti diluendo un campione ambientale prelevato sul campo mediante un dispositivo di diluizione simile a quello impiegato per l'olfattometria dinamica.

La creazione del modello qualitativo e quantitativo avviene tramite l'utilizzo di tecniche statistiche che elaborano i dati ottenuti dal naso elettronico esposto ai campioni gassosi.

### **7.3 ELABORAZIONE DEI RISULTATI**

Solitamente, per l'elaborazione dei dati, si utilizza l'analisi PCA (Principal Component Analysis) che permette di ottenere una visione grafica di insieme delle impronte olfattive ottenute, attraverso una rappresentazione a una o più dimensioni. Un esempio di tale elaborazione è riportato nella *Figura 7.3* che si riferisce ad un sistema di depurazione le cui arie in ingresso ed in uscita, oltre all'aria ambiente di fondo (non odorosa), sono state sottoposte a lettura da parte del naso elettronico. Le risposte del sistema olfattivo elettronico, infatti, elaborate secondo la PCA e riportate graficamente considerando le prime 2 componenti principali caratteristiche (diagramma a 2 dimensioni) evidenziano una separazione “visiva” tra i campioni dell'aria in ingresso al depuratore rispetto a quelli in uscita ed all'aria ambientale di fondo. Tale separazione è indice della capacità del naso elettronico di percepire e riconoscere la diversa qualità dei campioni di aria, distinguendoli tra loro [52].



*Figura 7.3. Rappresentazione PCA di misure eseguite con sistema olfattivo elettronico*

#### 7.4 USO DEL NASO ELETTRONICO NEL SETTORE AMBIENTALE

Il campo del monitoraggio ambientale con utilizzo del naso elettronico, di recente adozione, comprende una vasta gamma di attività relative ai comparti acqua, aria e suolo.

Diversi gruppi di ricerca hanno studiato l'efficienza del naso elettronico nel monitorare la qualità dell'acqua. In particolare, alcune applicazioni hanno riguardato la misura di contaminanti residui di insetticidi scaricati nei corsi d'acqua e nei fiumi, altre, invece, il monitoraggio di impianti di depurazione correlando le risposte del naso elettronico con il parametro "solidi sospesi volatili". La tecnologia impiegata in questi studi consisteva in un array di sensori semiconduttori ad ossido di metallo (MOS).

Altre tecnologie costituite da array di polimeri conduttori sono state impiegate nel monitoraggio di acque reflue e nella valutazione dell'impatto ambientale provocato da odori [64].

Un altro studio [66], ha riguardato la misura dell'intensità di odore. Sono stati messi a confronto i risultati di tre differenti tipologie di naso elettronico con quelli ottenuti impiegando il metodo sensoriale. È stata riscontrata una relazione lineare tra l'intensità misurata con l'olfattometria dinamica e l'intensità calcolata attraverso la modellazione dei dati ottenuti con i nasi artificiali. Da evidenziare, però, che la risposta dei sensori varia notevolmente a seconda delle sostanze analizzate. Di recente applicazione è l'uso del naso elettronico per scartare i tappi da sughero cosiddetti "pericolosi", ovvero quelli che determinano il classico sapore sgradevole di "tappo" nel vino

imbottigliato. Tale applicazione ha interessato la fabbrica Amorim presso Conegliano, un comune della provincia di Treviso, in collaborazione con l'Università di Manchester [67].

Nell'ambito della contaminazione di siti con materiali tossici e radioattivi sono, invece, presenti poche applicazioni del naso elettronico.

Alla luce di ciò, si evince chiaramente che reali applicazioni di monitoraggio di odori alle immissioni tramite naso elettronico nel settore ambientale sono limitate [68].

Per il monitoraggio degli odori nel settore ambientale bisogna fare alcune importanti considerazioni; le risposte dei sensori sono fortemente influenzate da numerosi variabili ambientali quali umidità e temperatura, nell'elaborazione dei dati bisogna verificare che le condizioni di umidità siano simili per tutti i dati rilevati. È indispensabile, perciò, monitorare in continuo il livello di umidità presente all'interno della camera di misura. In merito alla temperatura, invece, è consigliabile mantenere all'interno della camera di misura una temperatura costante per ottenere prestazioni ripetibili del sistema.

Le problematiche di utilizzo del naso elettronico riguardano anche il fenomeno di “deriva” dei sensori, consistente nella variazione progressiva delle proprietà intrinseche dei sensori nell'arco del tempo [69], l'assenza di procedure standardizzate per la fase di addestramento, acquisizione ed elaborazione dei dati.

Nonostante i numerosi progressi compiuti, ancora oggi, qualsiasi tipologia di sensore utilizzato è ancora lontano dalla sensibilità e selettività di un naso umano. Per questo motivo, lo scopo di tali sistemi non è quello di sostituire il naso umano o altri metodi analitici ma di integrare i sistemi attualmente consolidati nella letteratura scientifica quali l'olfattometria dinamica e i sistemi analitici (GC-MS).

## 8 FASE SPERIMENTALE

### 8.1 OBIETTIVI DEL LAVORO

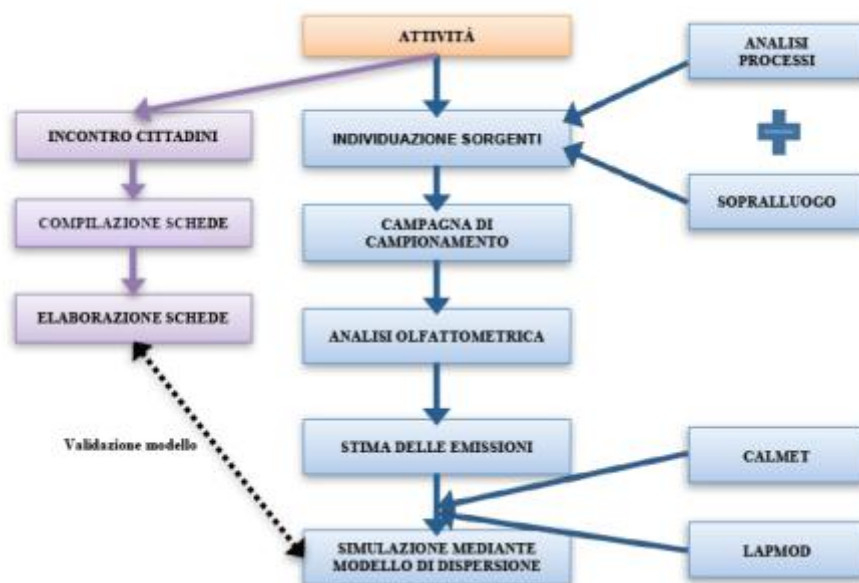
Il presente lavoro di tesi si inserisce nell'ambito degli studi sulle molestie olfattive, in particolare è incentrato sulle emissioni da sorgenti areali passive, ovvero le superfici estese, sia liquide che solide, che emettono odore in conseguenza della volatilizzazione di sostanze più o meno volatili, senza che vi sia un flusso uscente di materia appositamente forzato, come avviene nei camini. Gli esempi più comuni di questo genere di sorgenti sono le vasche di depurazione acque reflue, le superfici di discarica o i cumuli di stoccaggio di materiale, quali rifiuti o compost.

Tale studio è iniziato lo scorso anno, durante il quale sono state condotte due attività principali: un incontro con i cittadini dell'area di studio al fine di informare e di reclutare sentinelle volontarie per la compilazione di schede di segnalazione dell'odore e il campionamento di sorgenti odorigene individuate nel comparto di studio al fine di implementare un modello di dispersione dell'odore. Le schede sono state quindi utilizzate anche per validare le stime simulate dal modello.

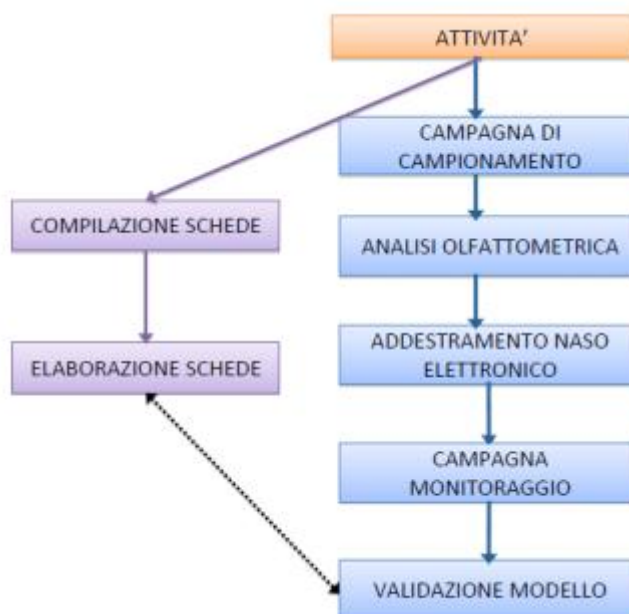
La caratterizzazione delle sorgenti è stata condotta determinando la concentrazione di odore con la tecnica dell'olfattometria dinamica, e, a partire dalle concentrazioni di odore in  $\text{OU}/\text{m}^3$ , è stata fatta una stima delle emissioni ( $\text{OU}/\text{m}^2/\text{s}$ ) delle principali sorgenti presenti nel comparto che, insieme alle caratteristiche geometriche delle sorgenti e alla meteorologia, sono state inserite nel modello. Infine i file di output sono stati elaborati in sistemi informativi-territoriali (GIS) per ottenere le mappe di isoconcentrazione così come definito dalle linee guida della Lombardia. Le fasi di questo primo studio sono illustrate in *Figura 8.1*, mentre, in *Figura 8.2* sono illustrate le fasi dello studio condotto nel presente lavoro di tesi. Durante il secondo anno è stata condotta un'ulteriore compilazione delle schede di segnalazione degli odori da parte dei cittadini. Tali schede, compilate nel periodo che va da Luglio 2016 a Settembre 2016, sono state utilizzate per confrontare le segnalazioni con le stime simulate dal modello. Inoltre, il secondo anno ha previsto anche l'addestramento di un naso elettronico, posizionato presso un recettore sensibile ed utilizzato come sistema di monitoraggio in continuo.

Con i dati ottenuti dal naso elettronico, è stato possibile individuare la sorgente maggiormente impattante tra quelle considerate. Infine, è stata tentata la validazione del modello di dispersione, in aggiunta alle segnalazioni dei cittadini, attraverso il sistema olfattivo.

Lo studio condotto nel 2015 [7], ha permesso di individuare le sorgenti potenzialmente impattanti e i recettori più sensibili, mentre, in questa nuova campagna, avendo a disposizione il sistema olfattivo elettronico, è stato possibile individuare la sorgente maggiormente impattante, ampliare i dati in input al modello e tentare la validazione del modello con il naso elettronico.



*Figura 8.1. Schema riassuntivo prima fase di studio condotta nel 2015*



*Figura 8.2. Schema riassuntivo seconda fase dello studio dell'odore condotta nel 2016*

## 8.2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

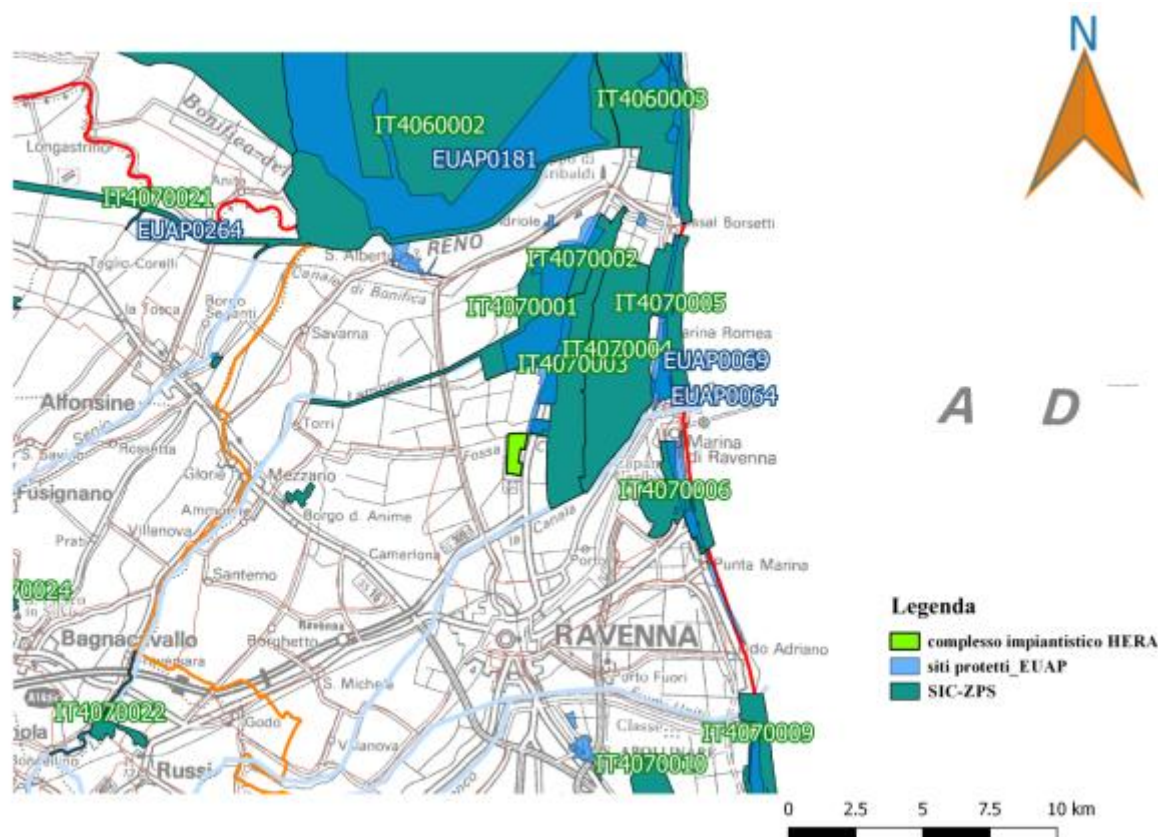
Il polo integrato di trattamento dei rifiuti, come mostra la *Figura 8.3*, è collocato a Ravenna, al km 2,6 n.272 della Strada Statale Romea. Tale sito, che occupa un'area pressoché rettangolare con un'estensione di circa 110 ettari, confina a Est con la S.S. 309 Romea, a Sud con la strada comunale via Guiccioli, a Nord con lo scolo Cerba e ad Ovest con lo Scolo Tomba.





**Figura 8.3. Inquadramento territoriale**

Il comparto, localizzato in zona di recente bonifica (*Figura 8.4*), si colloca al margine fra una matrice agricola ed una naturale, in prossimità di aree protette e 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 8.4. Zone di pregio comunitario*

### 8.3 QUALITA' 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>x</sub>, CO, benzene, toluene e xileni, IPA, diossine, furani e policlobifenili).

Situazioni di criticità vengono, invece, rilevate per [70] :

- NO<sub>2</sub>: il valore limite della media annuale del biossido di azoto è rispettato in tutte le stazioni della Provincia dal 2010, con un trend in diminuzione a partire dal 2007, anche se i valori medi annuali del 2015 evidenziano un lieve aumento rispetto al 2014 (che è stato un anno particolare dal punto di vista meteorologico, con frequenti situazioni favorevoli alla diluizione degli inquinanti). I valori più alti si misurano nella stazione da traffico (Zalamella). Nonostante nella Provincia di Ravenna i limiti per il biossido di azoto siano rispettati già da qualche anno, è indispensabile mantenere alto il controllo su questo inquinante sia per le interazioni esistenti tra NO<sub>x</sub>, particolato e O<sub>3</sub>, sia per le criticità riscontrate a livello regionale, criticità prevalentemente legate alle concentrazioni medie annuali piuttosto che ad episodi acuti (intendendosi con “episodi acuti” eventi intensi ma di

breve durata, con medie orarie elevate, maggiori del limite pari a  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

- I valori di Ozono rilevati nel 2015 confermano il perdurare di una situazione critica per questo inquinante, con superamenti dei valori obiettivo e/o del valore della soglia di informazione in tutte le 6 stazioni, ad eccezione di Ballirana. Gli indicatori considerati non evidenziano una chiara tendenza e confermano lo stretto legame fra concentrazioni di ozono e meteorologia della stagione, così l'estate calda del 2015 ha portato ad avere un peggioramento rispetto a quella del 2014, piovosa in modo anomalo. Il trend storico registra una certa stabilità delle concentrazioni di  $\text{O}_3$  in tutta la Regione. La situazione di criticità diffusa è riconducibile anche all'origine fotochimica e alla natura esclusivamente secondaria di questo inquinante, che rende la riduzione più complicata rispetto agli inquinanti esclusivamente primari. Spesso, infatti, i precursori dell'ozono sono prodotti anche a distanze notevoli rispetto al punto in cui vengono misurate le concentrazioni più alte di ozono, rendendo decisamente più difficile pianificare azioni di risanamento/mitigazione.
- Nel 2015 il limite della media annuale del  $\text{PM}_{10}$  ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) è rispettato in tutte le postazioni, mentre il limite giornaliero (media giornaliera di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  da non superare più di 35 volte in un anno) è superato in tutte le stazioni, ad eccezione delle stazioni di fondo urbano e sub-urbano di Delta Cervia e Parco Bucci. Se si analizza il trend storico della media annuale, si nota una diminuzione delle concentrazioni dal 2006 e un successivo assestamento negli ultimi anni attorno al valore di  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tuttavia il  $\text{PM}_{10}$  resta un inquinante critico sia per i diffusi superamenti del limite di breve periodo sia per gli importanti effetti che ha sulla salute. Considerata la classificazione di questo inquinante da parte dell'OMS e le concentrazioni significative che si possono rilevare soprattutto in periodo invernale - la valutazione dello stato dell'indicatore non può essere considerata positiva.
- Per quanto riguarda il particolato  $\text{PM}_{2,5}$  nel 2015 il limite relativo alla media annuale è stato rispettato in tutte le postazioni, risultato da consolidare - e possibilmente migliorare - anche negli anni futuri. Il valore più elevato viene registrato nella stazione di Fondo Urbano Residenziale (Caorle) e in quella Locale industriale (Porto San Vitale). La stagione più critica è quella invernale, quando le concentrazioni di  $\text{PM}_{2,5}$  rappresentano circa l'70% di quelle di  $\text{PM}_{10}$ . Considerata la classificazione di questo inquinante da parte dell'OMS e le concentrazioni significative che si rilevano - se confrontate con i valori guida dell'OMS - la valutazione dello stato dell'indicatore non può essere considerata positiva.

## 8.4 L'IMPIANTO

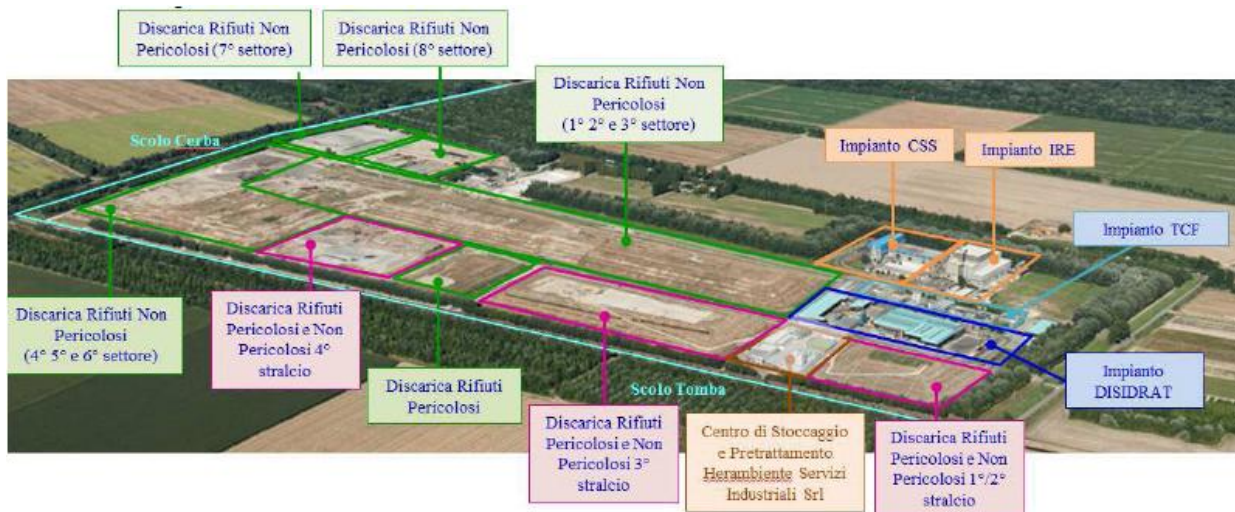
Il sito impiantistico comprende una serie di impianti in grado di coprire l'intero ciclo di trattamento dei rifiuti liquidi, solidi e fangosi. Si tratta, a tutti gli effetti, di un polo integrato di gestione rifiuti. Gli impianti che rientrano nel campo di applicazione della Dichiarazione Ambientale [71] 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);
- discariche per rifiuti pericolosi e non pericolosi 1°/2°, 3°, 4° stralcio, le quali a seguito della fusione per incorporazione di Sotris S.p.A. in Herambiente S.p.A, con efficacia dal 1° gennaio 2015, sono state acquisite da Herambiente entrando, pertanto, a far parte del parco impiantistico di quest'ultima.

Presso il sito sono inoltre presenti altri impianti caratterizzati da scenari gestionali diversificati:

- impianti di produzione di energia elettrica da biogas prodotto dalla discarica per rifiuti non pericolosi, di proprietà della società Biogas 2015 S.r.l subentrata da aprile 2015 a ICQ Holding Spa;
- Centro di stoccaggio e pretrattamento rifiuti urbani e speciali anche pericolosi gestito, a partire dal 01/04/2015, da Herambiente Servizi Industriali S.r.l. (HASI Srl), a seguito dell'operazione di affitto da parte del socio unico Herambiente S.p.A del ramo d'azienda relativo alla gestione di tale impianto, mentre fino al 31/12/2014, la gestione è stata in capo a Sotris S.p.A.

L'ubicazione degli impianti nel comparto in oggetto è illustrata in *Figura 8.5*.



**Figura 8.5. Sito impiantistico.**

In ottemperanza alla normativa in materia di riduzione e prevenzione integrata dell'inquinamento, disciplinata dalla Parte Seconda del D. Lgs. 152/06 e s.m.i., Herambiente ha ottenuto le Autorizzazioni Integrate Ambientali per gli impianti soggetti a tale disciplina. Di seguito si riportano i riferimenti degli atti autorizzatori in essere.

**Tabella 8.6. Elenco delle autorizzazioni attualmente in essere**

SETTORE INTERESSATO	AUTORITA' CHE HA RILASCIATO L'AUTORIZZAZIONE	NUMERO AUTORIZZAZIONE E DATA DI EMISSIONE	NOTE
Aria-Acqua-Rifiuti	Provincia di Ravenna	Prov. N. 4058 del 30/12/2015	Autorizzazione Integrate Ambientale per la <b>discarica per rifiuti non pericolosi</b>
Aria-Acqua-Rifiuti	Provincia di Ravenna	Prov. N. 2860 del 29/08/2012	Autorizzazione Integrate Ambientale per l' <b>impianto di recupero energetico da CSS (ex CDR) e connesso impianto di produzione CSS</b>
Aria-Acqua-Rifiuti	Provincia di Ravenna	Prov. N. 565 del 15/12/2009	Autorizzazione Integrate Ambientale per la <b>discarica per rifiuti pericolosi</b>
Aria-Acqua-Rifiuti	Provincia di Ravenna	Prov. N. 1656 del 16/05/2012	Autorizzazione Integrate Ambientale per l'impianto <b>chimico-fisico</b> e per l'impianto <b>Disidrat</b>
Aria-Acqua-Rifiuti	Provincia di Ravenna	Prov. N. 361 del 24/08/2009 (volturato con Prov. n. 3931 del 31/12/2014)	Autorizzazione Integrate Ambientale per le <b>discariche per rifiuti pericolosi e non pericolosi 1°/2° stralcio, 3° stralcio e 4° stralcio</b>

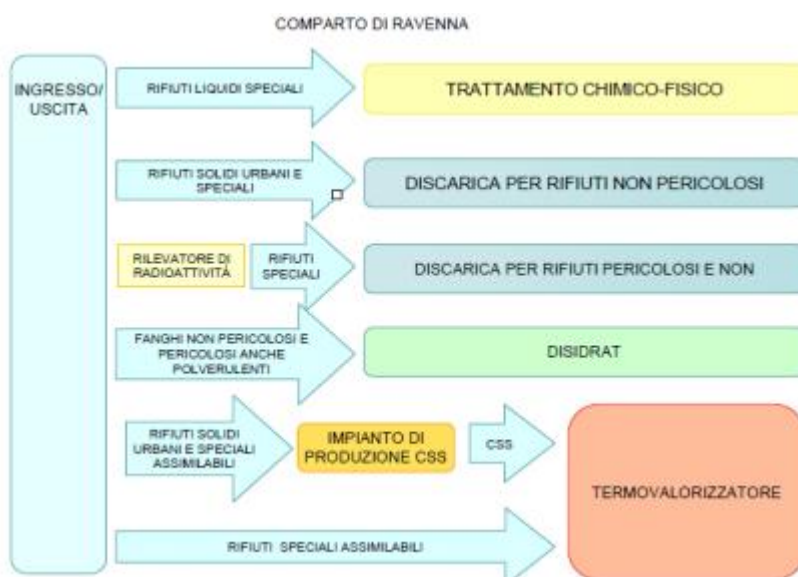
## 8.5 IL CICLO PRODUTTIVO

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.

### 8.5.1 Rifiuti in ingresso al comparto

Il polo integrato di gestione rifiuti è in grado di trattare molteplici tipologie di rifiuti: urbani e speciali, liquidi e solidi, pericolosi e non. Gli impianti svolgono un servizio a favore della collettività, del mondo produttivo e di altre realtà impiantistiche del Gruppo, nel rispetto del principio di prossimità.

La prevalenza degli ingressi 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 al Gruppo. Una quota rilevante del rifiuto in ingresso è costituito anche dal rifiuto urbano tal quale destinato all’impianto di produzione CSS ed alla discarica per rifiuti non pericolosi. I rifiuti in ingresso al sito (*Figura 8.7*), dopo aver transitato attraverso le strutture gestite dal Servizio Accettazione, si dirigono verso gli impianti di destinazione



*Figura 8.7. Flussi in ingresso*

### 8.5.2 Impianto di produzione CSS e Biotunnel



**Figura 8.8. Impianto di produzione CSS e Biotunnel**

È un impianto di trattamento di rifiuti indifferenziati finalizzato alla successiva fase di termovalorizzazione. Il processo si realizza attraverso trattamenti diversi: triturazione, separazione della frazione fine, separazione dell'umido, separazione della frazione ferrosa. Il risultato è un rifiuto speciale che concentra le frazioni ad alto potere calorifico. L'impianto è costituito da due linee parallele per la separazione della frazione secca combustibile e da una terza linea di triturazione e vagliatura primaria dei rifiuti indifferenziati che può eventualmente essere utilizzata in alternativa/integrazione alle due linee solo in caso di fermata programmata di una di queste, per garantire continuità alla produzione di CSS, destinato a recupero energetico. Nel piazzale attiguo è svolta l'attività di trattamento biologico, tramite biostabilizzazione accelerata del primo sovrappeso umido proveniente dall'impianto di produzione CSS, per un quantitativo massimo autorizzato di 26.000 ton/anno. L'attività consiste nella bioossidazione accelerata, realizzata all'interno di 7 biotunnel in parallelo, per la produzione di materiale da utilizzare come copertura giornaliera dei rifiuti in discarica (conformemente alla DGR n. 1996/06). Il processo di trasformazione della frazione umida in una componente solida recuperabile permette di raggiungere importanti obiettivi ambientali come 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).

L'impianto è autorizzato a trattare un quantitativo di rifiuti pari a 180.000 ton/anno. Come visibile in Tabella 8.9, nel triennio di riferimento si registra una variabilità dei quantitativi di rifiuti in ingresso, con un aumento nel 2015 degli ingressi sia di urbani che speciali. Tale andamento è legato sia alla gestione dei flussi di rifiuti da parte di Herambiente, che ha veicolato i rifiuti speciali prevalentemente agli impianti di termovalorizzazione del Gruppo, che alla disponibilità delle discariche presenti nel sito a ricevere i sovvalli. 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 31% in peso, dalla raccolta di rifiuti speciali. Questi ultimi provengono da attività produttive con caratteristiche tali da permettere il trattamento finale in impianti destinati ai rifiuti urbani (carta, film plastici, legno, imballaggi ecc.).

**Tabella 8.9. Riepilogo ingressi- impianto di produzione CSS**

<b>Rifiuti in ingresso</b>	<b>u.m.</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Rifiuti Urbani (ex RSU)	ton	101.057	114.645	115.142
Rifiuti Speciali (ex RSA)	ton	66.689	35.412	47.697
<b>Totale Ingressi</b>	<b>ton</b>	<b>167.746</b>	<b>150.057</b>	<b>162.839</b>

FONTE: ESTRAZIONE DA SOFTWARE DI GESTIONE RIFIUTI

#### Biostabilizzazione

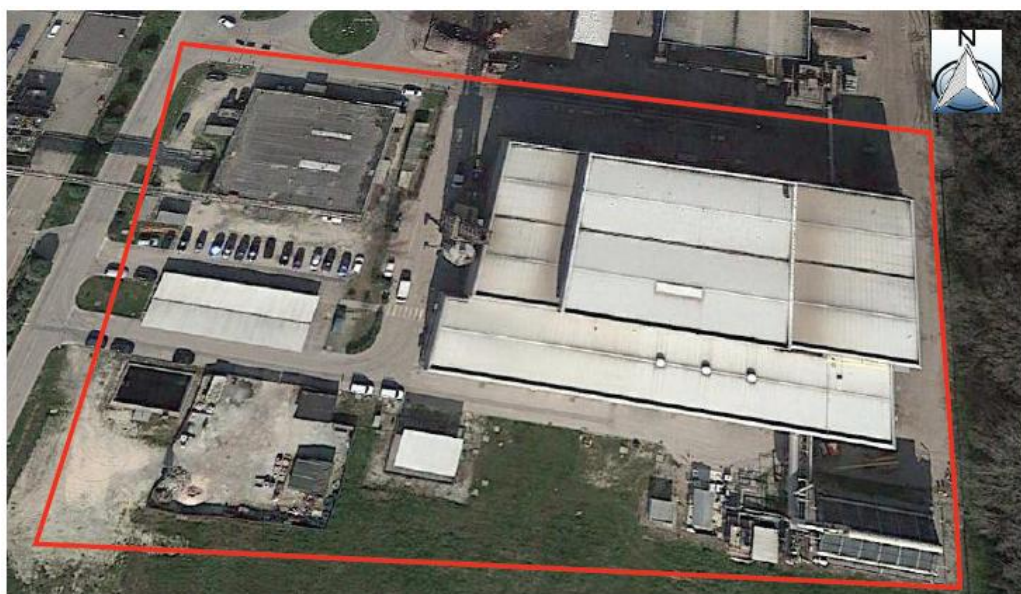
Il rifiuto umido prodotto nella fase di selezione primaria prevede dei trattamenti preliminari prima che avvenga la fase biologica vera e propria.

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, il materiale biostabilizzato viene estratto ed avviato direttamente in discarica come materiale di recupero per la copertura giornaliera della discarica. Al fine di migliorare la performance ambientale dell'impianto, dal punto di vista delle emissioni odorigene, è stato installato<sup>1</sup> a fine 2014 un sistema che permette l'aspirazione dell'aria all'interno dei biotunnel ed il suo convogliamento all'esterno, previo trattamento attraverso un biofiltro, garantendo una più elevata efficienza di purificazione dell'aria, che prima avveniva attraverso l'utilizzo di teli a carboni attivi. Tale sistema, attuato in via sperimentale sul biotunnel n.2, è stato realizzato nel corso del 2015 su tutto l'impianto di biostabilizzazione effettuando il convogliamento delle arie aspirate da ciascun biotunnel ad un unico biofiltro.

<sup>1</sup> Comunicazione Herambiente Prot. gen. n. 11459 del 05/08/2014e Prot. gen n. 15417 del 11/11/2014.



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



**Figura 8.10. Impianto di termovalorizzazione di CSS (IRE)**

L'impianto di termovalorizzazione effettua l'incenerimento di CSS con contestuale recupero energetico del calore dei fumi. Esso è autorizzato a trattare Combustibile Solido Secondario (CSS) e rifiuti speciali assimilabili agli urbani e rifiuti sanitari a rischio infettivo per un quantitativo massimo pari a 56.500 tonnellate/anno. Si riporta in Tabella 8.11, per il triennio di riferimento, il riepilogo dei rifiuti in ingresso al termovalorizzatore da cui si evince un incremento dei quantitativi conferiti all'impianto ascrivibile all'aumento della quota di rifiuto speciale costituito da CSS, correlabile alla sua maggiore produzione nell'adiacente impianto.

**Tabella 8.11. Riepilogo rifiuti termovalorizzati**

Rifiuti in ingresso	u.m.	2013	2014	2015
Rifiuto speciale non pericoloso costituito da CSS	ton	46.641	49.525	51.005
Altro rifiuto speciale non pericoloso (ex RSA)	ton	1.232	979	741
<b>Totale Ingressi</b>	<b>ton</b>	<b>47.837</b>	<b>50.504</b>	<b>51.747</b>

FONTE: ESTRAZIONE DA SOFTWARE DI GESTIONE RIFIUTI

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



*Figura 8.12. Impianto di trattamento chimico-fisico (TCF)*

L'impianto tratta rifiuti speciali liquidi anche pericolosi di origine prevalentemente produttiva per convertirli in reflui depurati. Il trattamento si realizza mediante processi chimici (uso di reagenti) e fisici (uso di ausili meccanici). L'impianto è autorizzato a trattare rifiuti speciali liquidi pericolosi e non per un quantitativo pari a 220.000 ton/anno. In via prioritaria, l'impianto è dedicato al trattamento dei rifiuti liquidi prodotti dagli impianti ubicati nel comparto stesso (percolati, acque di processo, ecc). Gli ingressi possono essere infatti 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 e di processo provenienti dal centro di stoccaggio e pretrattamento HASI S.r.l. e acque meteoriche provenienti dal comparto. Il restante 20% proviene dal mondo produttivo esterno e in porzione minima dai restanti impianti del Gruppo. I rifiuti in ingresso sono prevalentemente non pericolosi e, tra questi, il contributo maggiore è dato dal percolato da discariche, ovvero il rifiuto generato nel corpo delle discariche principalmente per infiltrazione delle acque meteoriche nei rifiuti stoccati. I rifiuti pericolosi, invece, sono costituiti principalmente da emulsioni oleose e da reflui provenienti da impianti esterni al gruppo. Di seguito si riportano i quantitativi trattati nel periodo di riferimento.

**Tabella 8.13. Riepilogo ingressi impianto - TCF**

<b>Rifiuti in ingresso</b>	<b>u.m.</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Rifiuti Non Pericolosi	ton	153.407	163.260	165.807
Rifiuti Pericolosi	ton	21.048	23.188	22.194
<b>Totale Ingressi</b>	<b>ton</b>	<b>174.455</b>	<b>186.448</b>	<b>188.001</b>

FONTE: ESTRAZIONI DA SOFTWARE GESTIONE RIFIUTI

### **8.5.7 Impianto DISIDRAT**

L'impianto è stato realizzato per trattare 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.



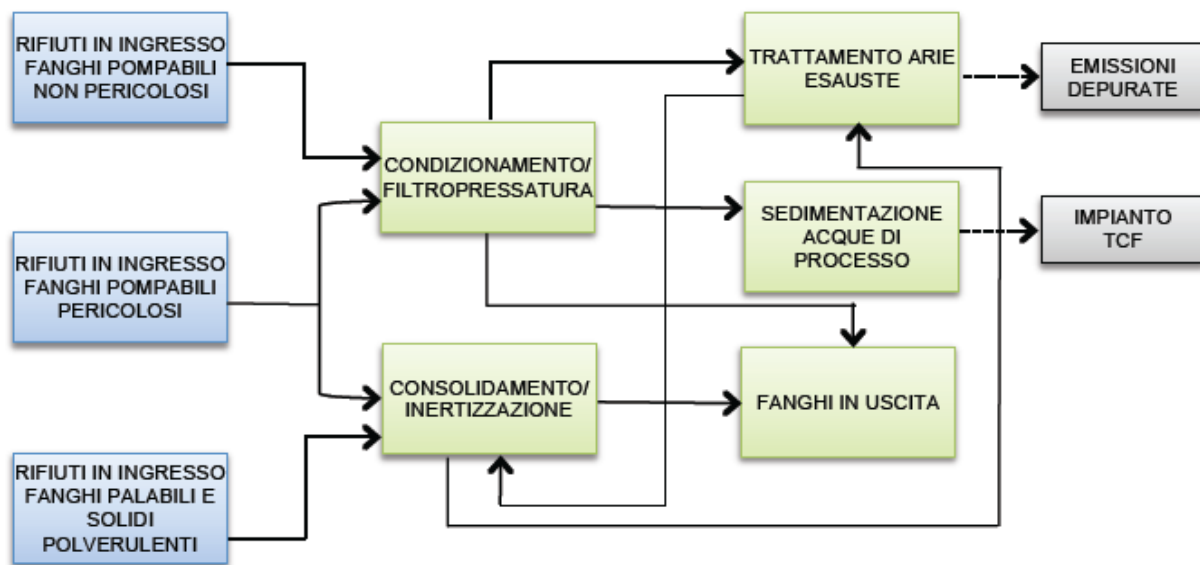
**Figura 8.14. Impianto DISIDRAT**

L'impianto è costituito da tre linee distinte di lavorazione e trattamento, individuate per ognuna delle macro-categorie di rifiuti in ingresso:

- 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. Si precisa che alle tre linee menzionate si affianca un'ulteriore sezione autonoma di trattamento, seppur integrata nell'impianto, a cui sono destinati terreni e fanghi palabili pericolosi e non, che vengono sottoposti, come fase di pretrattamento, ad operazioni di miscelazione e omogeneizzazione per essere destinati allo smaltimento/recupero presso impianti esterni.



**Figura 8.15. Ciclo produttivo Impianto DISIDRAT**

L'impianto è autorizzato a trattare 150.000 ton/anno di rifiuti che presentano caratteristiche chimico-fisiche ad ampio spettro, riassumibili nelle seguenti macro-categorie:

- 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 del Gruppo Herambiente e/o da reattivi e catalizzatori esausti.

Di seguito, in Tabella 8.17, sono riportati i quantitativi di rifiuti trattati dalla quale si evince un significativo incremento di rifiuti nel corso dell'anno 2014. Il trend, tuttavia, subisce un'inversione nell'anno 2015 a causa del sostanziale calo di rifiuti pompabili non pericolosi e rifiuti palabili pericolosi e non pericolosi.

**Tabella 8.16. Riepilogo rifiuti trattati – DISIDRAT**

<b>Rifiuti in ingresso</b>	<b>u.m.</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Rifiuti pompabili non pericolosi	ton	45.252	56.021	40.334
Rifiuti pompabili pericolosi	ton	6.629	7.572	8.155
Rifiuti palabili non pericolosi	ton	17.911	39.717	30.417
Rifiuti palabili pericolosi	ton	27.248	20.363	15.538
Rifiuti polverulenti pericolosi	ton	22.567	20.180	22.096
Rifiuti polverulenti non pericolosi	ton	-	-	2.387
<b>Totale Ingressi</b>	<b>ton</b>	<b>119.607</b>	<b>143.853</b>	<b>118.926</b>

FONTE:ESTRAZIONI DA SOFTWARE DI GESTIONE RIFIUTI

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 corrispondenti 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.

#### EMISSIONI CONVOGLIATE

L'impianto è dotato di capannoni chiusi all'interno dei quali sono alloggiati le vasche di stoccaggio dei rifiuti potenzialmente odoriferi 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.

### 8.5.8 Discariche per rifiuti pericolosi e non pericolosi

Dal primo gennaio 2015 il parco impiantistico di Herambiente si è ampliato con l'acquisizione delle discariche per rifiuti pericolosi e non denominate 1°/2°, 3° e 4° stralcio, gestite fino al 31/12/2014 da Sotris S.p.A.



*Figura 8.17. Discariche presenti all'interno del comparto*

Attualmente, pertanto, all'interno del comparto sono presenti i seguenti impianti di discarica:

- **Discarica per rifiuti non pericolosi** costituita dai seguenti settori:  
1°, 2°, 3° settore in gestione post-operativa con copertura definitiva sulle scarpate laterali e 4° settore in gestione post-operativa con copertura definitiva anche sulla parte sommitale; 5° e 6° settore in gestione post-operativa e 7° settore per il quale la coltivazione risulta ultimata per esaurimento delle volumetrie disponibili, attualmente i settori sono in attesa della copertura definitiva; 8° settore in coltivazione da novembre 2014. Tale settore è articolato in due sottosectori, per un volume complessivo utile 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 si è conclusa la procedura di VIA (Valutazione di Impatto Ambientale) con parere positivo ed è stata rilasciata l'Autorizzazione Integrata Ambientale in data 31/12/2015. Attualmente il settore, che sarà articolato in due sottosectori per un volume utile di abbancamento pari a circa 691.000 m<sup>3</sup> ad

assestamenti e cedimenti avvenuti, è in fase di approntamento.

- **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 2008. L'impianto è stato ufficialmente chiuso il 17/11/2008, data in cui si è dato formalmente avvio alla fase di gestione postoperativa<sup>2</sup>.
- **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. A seguito della fine del periodo di sperimentazione dell'impianto di trattamento fanghi da depuratori civili posto sulla sommità della discarica, a cui è seguito lo smantellamento nel 2013, si è resa disponibile una volumetria residua in virtù degli assestamenti avvenuti. Nel mese di novembre 2014 sono pertanto ripresi i conferimenti previo nulla osta della Provincia di Ravenna terminati nel mese di febbraio 2016<sup>3</sup>.
- **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. Con Provvedimento n.361 del 24/08/09 la Provincia di Ravenna ha autorizzato la chiusura definitiva e l'attività 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.

Ad oggi, gli impianti di discarica che risultano attivi sono, quindi, la discarica per rifiuti non pericolosi, attualmente interessata dalla coltivazione dell'8° settore, a seguito dell'esaurimento delle volumetrie disponibili del 7° settore nel novembre 2014, 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

---

<sup>2</sup> Atto di approvazione del Piano di Chiusura: Provincia di Ravenna PG 651 del 17/11/2008.

<sup>3</sup> Comunicazione Herambiente PG 7175 del 13/04/2016.

da impianti di selezione e trattamento del Gruppo Hera 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 sovvallò 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 8.18 è riportato il riepilogo dei rifiuti in ingresso alla discarica nel periodo di riferimento, tra i quantitativi di rifiuti recuperabili compaiono anche quelli utilizzati per la regolarizzazione delle superfici e la messa in sicurezza del 6° e 7° settore realizzata con FOS (biostabilizzato) e terreno. Nel triennio di riferimento si assiste ad un aumento degli ingressi di rifiuti speciali correlato alla volumetria resa disponibile dal 8° settore attualmente in coltivazione mentre la flessione degli urbani è legata prevalentemente alla minor indisponibilità dell'adiacente impianto CSS.

**Tabella 8.18. Riepilogo ingressi – discarica per rifiuti non pericolosi**

<b>Rifiuti in ingresso</b>	<b>u.m.</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Rifiuti urbani	ton	11.337	10.753	5.592
Rifiuti speciali	ton	86.695	119.716	214.181
<b>Totale Smaltito</b>	<b>ton</b>	<b>98.032</b>	<b>130.469</b>	<b>219.773</b>
Rifiuti recuperati nelle operazioni copertura (gestionale e finale)	ton	33.089	26.712	42.394
<b>Totale ingressi</b>	<b>ton</b>	<b>131.121</b>	<b>157.181</b>	<b>262.167</b>

FONTE: ESTRAZIONI DA SOFTWARE DI GESTIONE RIFIUTI

La **discarica 4° stralcio** è, invece, destinata a rifiuti pericolosi e non pericolosi. Nel periodo di riferimento i rifiuti sono stati conferiti nella discarica 4° stralcio, eccetto per una quota marginale di rifiuti pericolosi, pari a circa 1.400 ton nel 2014 e 7.261 ton nel 2015, smaltiti nella discarica 1°/2° stralcio, al fine di esaurire la volumetria resa disponibile dagli assestamenti avvenuti nel corpo discarica. La Tabella 8.19 riporta i quantitativi di rifiuti in ingresso per il triennio di riferimento.

**Tabella 8.19. Riepilogo ingressi – discariche per rifiuti pericolosi e non pericolosi**

<b>Rifiuti in ingresso</b>	<b>u.m.</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Rifiuti speciali non pericolosi	ton	70.966	73.672	69.740
Rifiuti speciali pericolosi	ton	21.596	13.738	21.034
<b>Totale Smaltito</b>	<b>ton</b>	<b>92.562</b>	<b>87.410</b>	<b>90.774</b>

FONTE: ESTRAZIONI DA SOFTWARE DI GESTIONE RIFIUTI



### COLTIVAZIONE DISCARICA

L'attività di coltivazione ha lo scopo di garantire la messa a dimora dei rifiuti, tale da rendere minimo l'impatto nei confronti dell'ambiente circostante. 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 e minimizza la produzione di percolato, la penetrazione di insetti e roditori nel corpo di accumulo e l'ingresso di aria evitando il pericolo di incendio.

Nel caso della coltivazione della **discarica per rifiuti non pericolosi** (8° settore), giornalmente, al termine dei conferimenti, si effettua 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. Le modalità ed i materiali previsti per tale operazione si differenziano in funzione della pendenza dell'area coinvolta. Possono, infatti, essere utilizzati: sabbia, ghiaia, pietrisco o macerie, teli in polietilene autoestingente, materiali inerti di recupero, FOS (Frazione Organica Stabilizzata), fanghi disidratati.

Per la **discarica 4° stralcio**, nonostante la natura dei rifiuti non sia tale da provocare la diffusione di odori o proliferazione di animali ed insetti, si effettua comunque un'immediata copertura dei rifiuti potenzialmente soggetti ad autocombustione o a dispersione eolica di materiali leggeri utilizzando materiali inerti (anche rifiuti), oltre che i materiali utilizzati per la copertura provvisoria (fanghi di drenaggio, detriti e fanghi di perforazione, ecc.). Limitatamente al 4° stralcio è attivo anche un sistema di mappatura e registrazione che garantisce la rintracciabilità dei rifiuti pericolosi messi a dimora, identificando la singola cella all'interno della quale è stato deposto il rifiuto. Nel settore per rifiuti pericolosi è, inoltre, allestita un'apposita cella dedicata allo smaltimento di rifiuti costituiti da fibre minerali artificiali che, in conformità alla normativa vigente<sup>4</sup>, vengono gestiti in modo differente rispetto agli altri tipi di rifiuti.

### MESSA IN SICUREZZA

Nella discarica per rifiuti non pericolosi al raggiungimento della quota finale di abbancamento, nell'ambito di ogni singolo settore, si procede alla messa in sicurezza. 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<sup>5</sup> per la successiva chiusura definitiva. Tale intervento si realizza mediante la messa a dimora di inerti da recupero opportunamente autorizzati (fanghi bentonitici/FOS) e

---

<sup>4</sup> D.M. 27/09/2010 e s.m.i. "Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, in sostituzione di quelli contenuti nel decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio 3 agosto 2005".

<sup>5</sup> Punto 2.4.3, Allegato 1 del Dlgs 36/03 "Attuazione della Direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti".

successivamente uno strato di terreno argilloso di circa 40 cm sul quale vengono realizzate le opere provvisorie per la raccolta e l'allontanamento delle acque meteoriche. Ad oggi si è completata la regolarizzazione e la messa in sicurezza dei settori 5°, 6° e 7°.

#### COPERTURA FINALE

Una volta esaurita la volumetria utile complessiva si provvede alla realizzazione degli interventi di chiusura finale suddivisi in **copertura provvisoria**, finalizzata ad isolare la massa dei rifiuti ancora in corso di assestamento, e **copertura definitiva**, che completerà il sistema di chiusura ad assestamenti avvenuti. Quest'ultima ha lo scopo di isolare definitivamente i rifiuti depositati nel corpo di discarica, permettere la realizzazione delle opere a verde di ripristino ambientale e prevedere la restituzione del sito alla collettività. La copertura verrà realizzata con modalità differenti a secondo che si tratti della discarica per rifiuti non pericolosi che pericolosi, comunque in accordo con quanto previsto dal D.Lgs. 36/2003.

Attualmente è stata completata la chiusura definitiva della discarica per rifiuti non pericolosi limitatamente ai settori 1°, 2°, 3° e 4°, della discarica per rifiuti pericolosi e il 3° stralcio della discarica per rifiuti pericolosi e non.

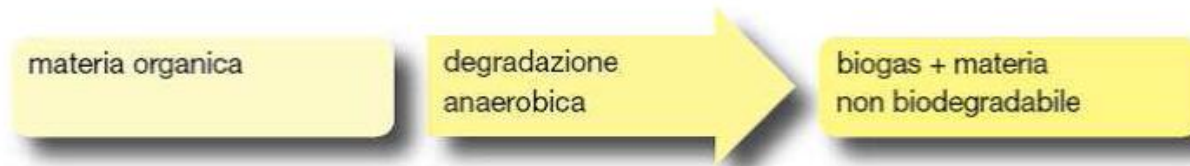
#### CAPTAZIONE E TRATTAMENTO PERCOLATO

Il percolato è un liquido che si genera nelle discariche a seguito di infiltrazione delle acque meteoriche nel corpo dei rifiuti e naturale decomposizione degli stessi. I corpi di discarica sono dotati di un sistema di drenaggio del percolato che ha lo scopo di drenare e convogliare sul fondo della discarica il percolato, il quale viene successivamente raccolto mediante un sistema di tubazioni fessurate. Il percolato viene quindi portato, mediante un sistema di estrazione, al di fuori della discarica e convogliato in vasche e serbatoi di stoccaggio. Successivamente, tramite condotta, il percolato è avviato a trattamento presso il vicino impianto di Trattamento Chimico-Fisico (TCF).

#### RECUPERO ENERGETICO BIOGAS

Nelle discariche per rifiuti pericolosi, per le caratteristiche dei rifiuti conferiti (assenza di materiali organici putrescibili) si ritiene altamente improbabile la formazione di biogas all'interno dei corpi di discarica. È stato comunque predisposto un piano di rilevazione che conferma l'effettiva assenza di biogas nelle linee di allontanamento e stoccaggio del percolato delle discariche.

Le discariche per rifiuti urbani, invece, producono, per effetto della decomposizione anaerobica (in assenza di ossigeno) della sostanza organica, il biogas: una miscela gassosa costituita prevalentemente da metano (CH<sub>4</sub>) e biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>). L'insieme delle reazioni chimiche che portano alla formazione del biogas possono essere riassunte nell'espressione:



In conseguenza delle sue caratteristiche combustibili, il biogas deve, per ragioni di sicurezza, 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. Il biogas prodotto viene aspirato dal corpo discarica mediante una serie di pozzi di captazione e convogliato, tramite idonee attrezzature aspiranti, al sistema di recupero energetico o alle torce dove viene bruciato solo in condizioni di emergenza (fermata dei gruppi di generazione di energia elettrica).

Il biogas prodotto dal 1°, 2° e 3° settore della discarica per non pericolosi è inviato ad una torcia di termocombustione<sup>6</sup>, entrata in funzione nel mese di ottobre 2013. Il biogas prodotto dal 4° settore è inviato ad un impianto di produzione di energia elettrica. Il recupero energetico si realizza mediante una rete di captazione ed aspirazione del biogas dall'interno della massa dei rifiuti. L'energia prodotta è immessa da una cabina di trasformazione BT/MT nella rete elettrica nazionale. È presente anche una torcia per la termodistruzione del biogas in caso di fermata del gruppo elettrogeno. Anche il biogas prodotto dal 5° e 6° settore è inviato ad un ulteriore impianto di produzione di energia elettrica con potenza nominale di 836 kWe, entrato in funzione nei primi mesi del 2014. La rete di captazione ed aspirazione è costituita, rispettivamente, da 18 e 19 pozzi di estrazione del biogas prodotto dal 5° e 6° settore della discarica. In caso di fermata del gruppo elettrogeno è presente una torcia, attiva da aprile 2013<sup>7</sup>, per la combustione completa del biogas.



**Figura 8.20. Testa di pozzo**

---

<sup>6</sup> Comunicazione Herambiente Prot n.13737 del 17/08/13

<sup>7</sup> Comunicazione Herambiente Prot. n. 4829 del 09/04/2013

Per il 7° settore sono stati predisposti nuovi pozzi di captazione del biogas, nel corso del 2015 è stato completato il collettamento dei pozzi all'esistente impianto di aspirazione ed il biogas a partire dal 27 luglio 2015 è inviato ad una nuova torcia<sup>8</sup> di potenzialità pari a 250 Nm<sup>3</sup>/h, mentre per l'8° settore è prevista una rete di captazione che sarà costituita da 24 pozzi di estrazione del biogas e l'attivazione di un'ulteriore torcia da 500 Nm<sup>3</sup>/h. in capo a Biogas 2015 Srl subentrata nel mese di aprile 2015 a ICQ Holding Spa nell'attività di recupero energetico del biogas prodotto dalle discariche in esame. L'impatto ambientale legato alla produzione di energia elettrica è valutato come positivo e descritto nella sezione relativa gli aspetti indiretti.

## 8.6 CAMPIONAMENTO DELLE EMISSIONI ODORIGENE



*Figura 8.21. Punti di campionamento*

<sup>8</sup> Comunicazione Herambiente Prot. n. 11029 del 10/08/2015

Il campionamento delle emissioni odorigene, in questo caso di studio (*Figura 8.21*), è stato eseguito allo scopo di realizzare campioni gassosi rappresentativi della sorgente da caratterizzare, da sottoporre successivamente alle verifiche ritenute opportune ai fini delle indagini. Tutte le misure e le elaborazioni successive al campionamento, quali ad esempio l'analisi olfattometrica, l'addestramento del naso elettronico, la valutazione dei risultati e la validità dell'intera analisi, risultano fortemente influenzate dalla rappresentatività del campionamento. A tale scopo è stata, perciò, valutata, durante la prima fase di studio, la rappresentatività delle lavorazioni. La tipologia di campionamento utilizzata è quella prevista dalla norma UNI EN 13725:2004 sia per le emissioni convogliate che per le emissioni diffuse: il metodo prevede l'aspirazione di una parte di effluente gassoso che viene convogliato in opportune sacche realizzate con materiali olfattivamente neutri. Nel caso specifico, i sacchetti utilizzati sono realizzati in PET Nalophan™, materiale che presenta assenza di odore, inerzia chimica, bassa permeabilità, bassa capacità di adsorbimento nei confronti degli odoranti e sufficientemente maneggevole e resistente. Per maggiori dettagli si rimanda al capitolo 6 di questa trattazione.

I campioni di aria (*Figura 8.21*), sono stati prelevati nei giorni di Lunedì 27 Giugno e Giovedì 30 Giugno per un totale di 25 campioni (*Figura 8.22*), indicativamente dalle ore 9:00 alle ore 12:30. Rispetto alla prima fase, in questa seconda fase di studio è stato prelevato un campione in più ai fini dell'addestramento del naso elettronico come sistema di monitoraggio in continuo, che sarà descritto nel capitolo 9 di questa trattazione.

**Tabella 8.22. Campioni**

27 GIUGNO 2016	
1 DISCARICA AREA COLTIVAZIONE	3 CAMPIONI
2 RIFIUTO TRITURATO (CSS)	3 CAMPIONI
3 BIOTUNEL	3 CAMPIONI
4 POZZETTO PERCOLATO	3 CAMPIONI
30 GIUGNO 2016	
5 BIANCO PRESSO POSIZIONAMENTO NASO	1 CAMPIONE
6 FANGHI IN INGRESSO	3 CAMPIONI
7 FANGHI IN USCITA	3 CAMPIONI
8 CENERI INERTIZZATE (MAGAZZINO)	3 CAMPIONI
9 VASCA DECANTAZIONE FANGHI	3 CAMPIONI

Le condizioni meteorologiche presenti nel comparto in tali giorni e la media mensile di Giugno sono riportate in Tabella 8.23.

**Tabella 2.23. Dati meteorologici nei giorni di campionamento e riepilogo del mese**

DATA	T Min. (°C)	T Media (°C)	T Max (°C)	PG Tot.(mm)	VV medio (m/s)
27/06/16	18	24	31	0	3,06
30/06/16	19	25	30	0	2,8
Riepilogo Giugno 2016	16,4	21,5	25,9	0	2,7

T = temperatura; PG = pioggia totale; VV = velocità del vento

## 8.7 ANALISI OLFATTOMETRICHE

L'analisi olfattometrica è stata condotta utilizzando un olfattometro per individuare la concentrazione di odorante, espressa in OU/m<sup>3</sup>. Le analisi 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. Le caratteristiche dell'olfattometro sono riportate in Tabella 8.24. 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 (Figura 8.25) 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).

**Tabella 8.24. 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-butanolo</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.



**Figura 8.25. Analisi olfattometrica eseguita presso la sede Arpae di Modena per questo caso di studio**

I risultati ottenuti dall'analisi olfattometrica sono riportati in Tabella 8.26 (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 citati in note a piè di pagina.

**Tabella 8.26. Risultati analisi olfattometrica**

<b>SORGENTE</b>	<b>OU/m<sup>3</sup></b>	<b>INCERTEZZA</b>	<b>DATI BIBLIOGRAFICI</b>
<b>Pozzetto percolato</b>	861	241	#21160 - #32000
<b>CSS Impianto IRE</b>	93	26	\
<b>Biotunnel impianto IRE</b>	4096	1147	# <sup>1</sup> 233 – # <sup>2</sup> 14254
<b>Discarica – area di coltivazione</b>	1625	455	#1029 - #4117
<b>Cumulo magazzino</b>	6720	1882	\
<b>Fanghi in uscita</b>	31379	8786	#10 <sup>3</sup> - #10 <sup>5</sup>
<b>Fanghi in ingresso</b>	2961	835	*10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5</sup>
<b>Vasca decantazione</b>	2139	599	*10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5</sup>

## **8.8 ATTIVITA' SVOLTE**

### **8.8.1 Segnalazione di odore**

L' impatto olfattivo delle emissioni di un impianto costituisce un problema ambientale nella misura in cui l'odore presente nell'aria ambiente sul territorio viene 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,

---

#[6] (<sup>1</sup> compost maturo, <sup>2</sup> biossidazione organico)

\* [37]



ritengono che tale metodo abbia un grande potenziale conoscitivo e allo stesso tempo possa essere applicato in modo semplice ed economico.

Nel periodo di indagine (da Luglio 2016 a Settembre 2016) è stato predisposto e messo a disposizione dei cittadini volontari un modulo specifico per la raccolta delle segnalazioni di odore. Le annotazioni dei momenti di percezione di odore prevedono la segnalazione del giorno e del periodo temporale (ora/minuto di inizio e di fine rilevazione) in cui i volontari avvertono maleodorazioni presso la loro abitazione. La *Figura 8.27* riporta un fac-simile della scheda utilizzata dai volontari per l'annotazione dei periodi di odore.

### SCHEDA DI RILEVAZIONE DEL DISTURBO OLFATTIVO

Eventi rilevati dal 11/07/2016 al 11/09/2016

Segnalatore	██████████			Foglio n°	1
Indirizzo	██████████	Località	██████████	Codice segnalatore (1)	██████
Data (2)	Ora inizio	Ora fine	Intensità (3)	Note (4)	Sigla (5)

- (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:  
**1 = odore chiaramente percettibile,**  
**2 = odore forte,**  
**3 = odore molto forte**
- (4) Indicazioni sulle caratteristiche dell'odore (fumo, bruciato, legna bruciata, gomma bruciata, plastica bruciata, solventi, odore dolciastro, decomposizione, etc.).
- (5) Inserire una sigla 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 \_\_\_\_\_

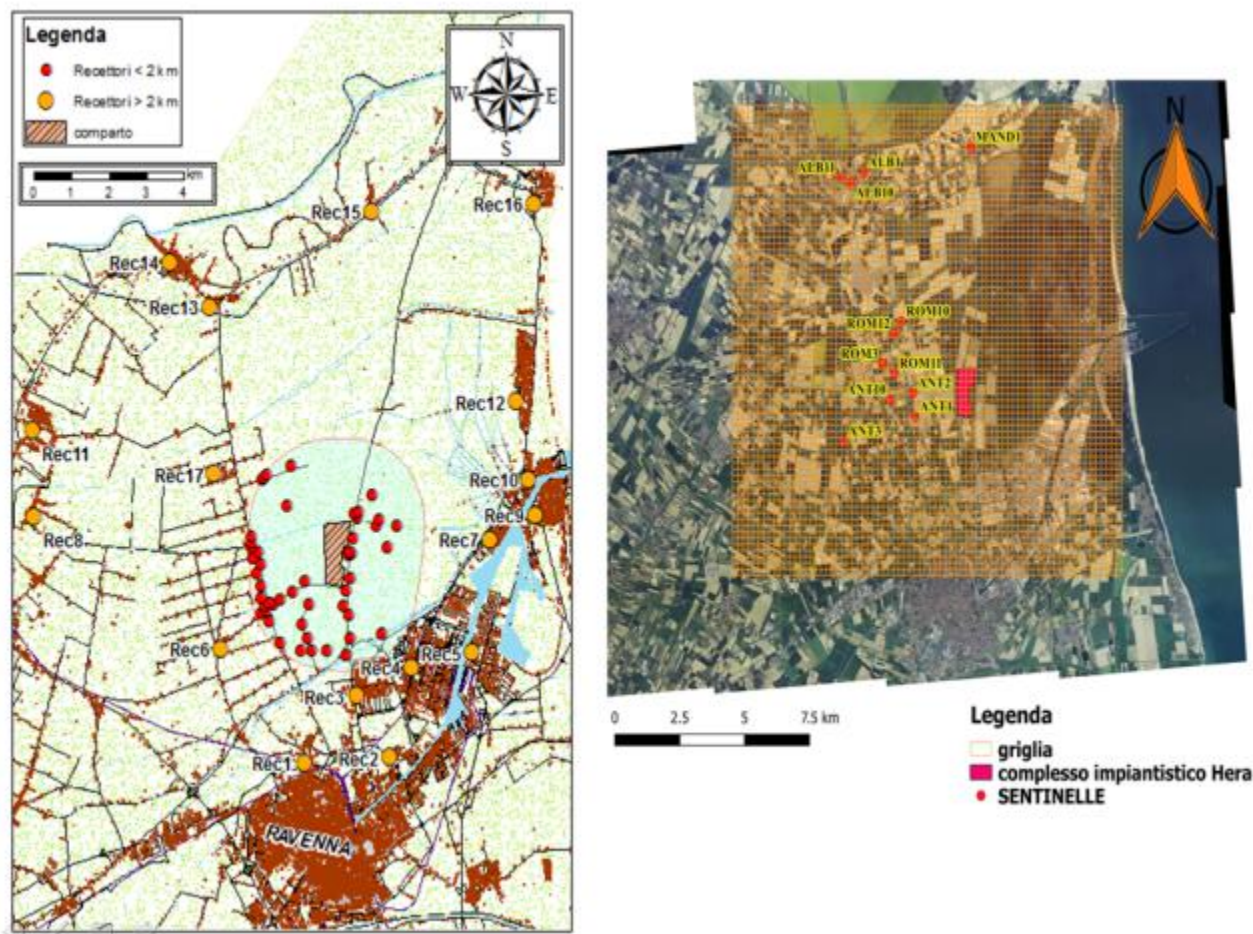
**Figura 8.27. Fac-simile scheda di rilevazione del disturbo olfattivo**

### **8.8.2 Dominio di simulazione**

L'area assunta come dominio spaziale della simulazione con il modello di dispersione è pari a un quadrato di lato 15 km lungo l'asse latitudinale e 15 km lungo quello longitudinale, all'interno del quale sono presenti i recettori, già individuati con lo studio del 2015, *Figura 8.28*, sulla base di determinati 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, Crusier, Sant'Alberto, Mandriole, Casalborgetti.

La griglia di calcolo, rappresentata in *Figura 8.28*, è costituita da un quadrato di dimensioni 15x15 km: Il passo è di 200 m. L'origine del dominio, di coordinate WGS84 UTM 32N X=745,992 km e Y=4924,057 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 così come la quota dei recettori 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. In ALLEGATO B sono indicate le sorgenti e le relative caratteristiche utilizzate in input nel modello.



*Figura 8.28. Localizzazione di tutti i recettori individuati nell'area di studio (dx), Rappresentazione della griglia di calcolo, maglia di 200 x 200m (sx)*

### 8.8.3 Dati di input

L'input meteorologico di LAPMOD consiste in campi tridimensionali di vento e temperatura e campi bidimensionali di parametri turbolenti quali la lunghezza di Monin-Obukhov, friction velocity, velocità di scala convettiva, altezza dello strato di mescolamento- ecc.

LAPMOD può leggere direttamente i campi meteorologici generati in output da CALMET [72]. LAPMOD è completamente accoppiato con CALMET. Anche le variabili geofisiche necessarie a LAPMOD (come la rugosità o la categoria di occupazione del suolo, usati per stimare i flussi di deposizione) provengono direttamente da CALMET. In questo caso di studio il dato meteo è relativo al dominio spaziale, già descritto nel paragrafo precedente.

## Sorgenti

La simulazione modellistica, e quindi la relativa fase di campionamento e di utilizzo del naso elettronico, si è incentrata sulle sorgenti di tipo areale diffuso presenti all'interno del comparto ed identificate come più significative durante il sopralluogo e lo studio degli impianti.

A monte della realizzazione del piano di campionamento è stata svolta, perciò, un'accurata attività preliminare di indagine, volta all'identificazione delle principali sorgenti areali emmissive ritenute di criticità odorigena. Tale attività è stata eseguita lo scorso anno, effettuando dei sopralluoghi all'interno del comparto e studiando la documentazione prodotta dalle aziende a fini autorizzativi. Le sorgenti campionate in questa nuova campagna sono quelle identificate l'anno precedente e che sono tutt'ora significative. La loro identificazione è stata eseguita analizzando il ciclo di processo di ciascun impianto del comparto (paragrafo 8.5).

Nella successiva Tabella 8.29(a) e *Figura 8.29(b)* sono riportati i dati necessari alla caratterizzazione delle sorgenti emmissive. Per ogni emissione, vengono riportate le coordinate per la georeferenziazione nel sistema di riferimento WGS84 UTM 32N.

Relativamente alle emissioni, occorre considerare che 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, si calcola il flusso che attraversa la cappa così da poter determinare la portata ed il flusso di odore. Di seguito si riportano il SOER e l'OER delle sorgenti considerate ai fini della simulazione modellistica.

**Tabella 8.29(a). SOER (relativo alla sorgente campionata) e OER (considerando l'area totale delle sorgenti)**

SORGENTE	SOER (OU/m2/s)	OER (OU/s)	AREA (m2 )
Discarica	9,03	9028	1000
Percolato	0,3	14	54 (1 X 54)
Fanghi ingresso	16,58	12934	780
Fanghi uscita	175,72	182751	1820
Magazzino	37,63	1035	28
CSS	0,52	275	533 + 924
Biotunnel	22,76	6516	286
Vasca	13,31	10644	800



*Figura 8.29(b). Area relativa alla superficie emissiva*

#### Caratterizzazione meteorologica

La meteorologia costituisce la principale variabile che influenza la concentrazione di un inquinante in aria:

- l'intensità del vento allontana più o meno rapidamente gli inquinanti dalle zone di rilascio e la sua direzione determina verso quali punti gli inquinanti vengano trasportati; importante è anche la frequenza delle calme di vento, che producono un ristagno degli inquinanti in prossimità delle sorgenti;
- intensità della radiazione solare e temperatura, se sufficientemente elevate, facilitano i processi di rimescolamento termico in prossimità della superficie; temperature elevate favoriscono, inoltre, le reazioni fotochimiche di formazione di ozono ed inquinanti secondari;

L'input meteorologico risulta, dunque, un fattore chiave nelle simulazioni della distribuzione degli inquinanti in aria, di importanza elevata almeno quanto la qualità dei dati emissivi introdotti nel modello.

Il periodo temporale per la validazione del modello è rappresentato dai mesi di Luglio, Agosto e Settembre 2016. 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)

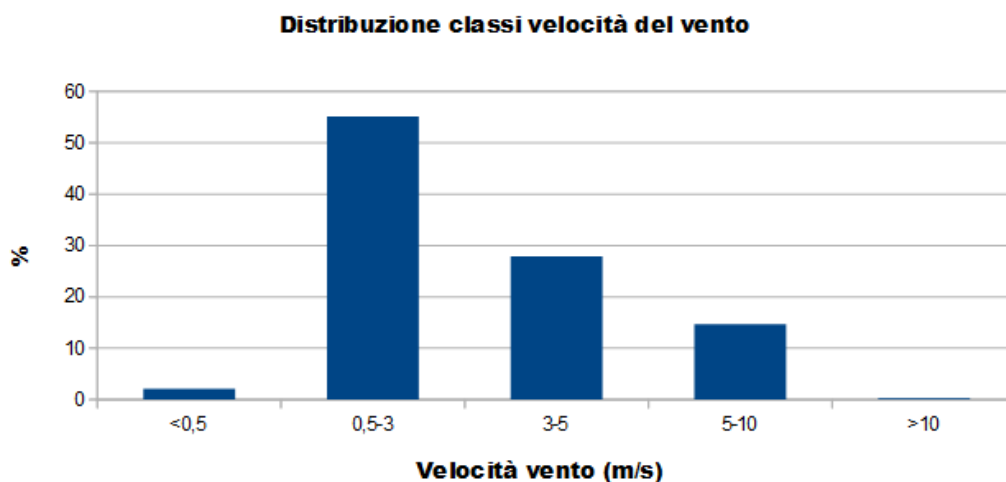
- Temperatura (°C)
- Umidità relativa (%)
- Precipitazione (mm)
- Copertura nuvolosa (frazione)
- Pressione atmosferica (hPa)

Dall'interpolazione di questi dati si ottengono altri parametri utili a conoscere le dinamiche dell'atmosfera riguardante l'area di studio considerata, ad esempio le classi di stabilità e l'altezza di rimescolamento. Di seguito sono riportate alcune elaborazioni effettuate tramite Excel dai dati ottenuti da CALMET.

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.

### VENTO

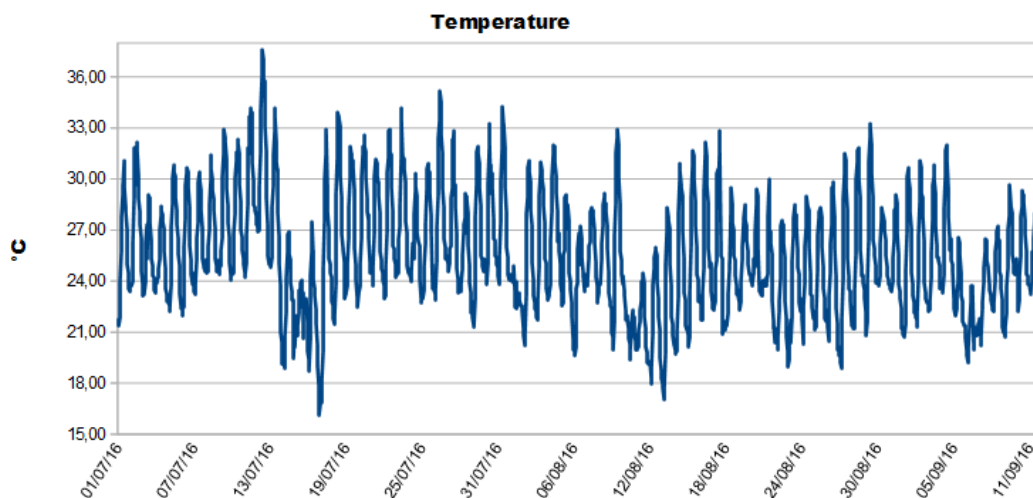
L'intensità del vento influenza il trasporto e la diffusione degli inquinanti; elevate velocità del vento tendono a favorire la dispersione degli inquinanti immessi vicino alla superficie; la direzione del vento influenza in modo diretto la dispersione degli inquinanti. I dati meteorologici sono stati elaborati al fine di analizzare la distribuzione delle classi di velocità del vento, come riportato in *Figura 8.30*. La frequenza massima riscontrata, pari al 55%, è associata a velocità del vento comprese tra 0,5 – 3 m/s, mentre le calme sono presenti per il 2 % delle ore dell'intero periodo di monitoraggio.



*Figura 8.30. Distribuzione classi di velocità del vento*

### TEMPERATURA

Dall'analisi dei dati orari, (*Figura 8.31*), emerge che nell'arco del periodo temporale considerato il valore minimo è di 16,05 °C, mentre il valore massimo è di 37,55 °C.

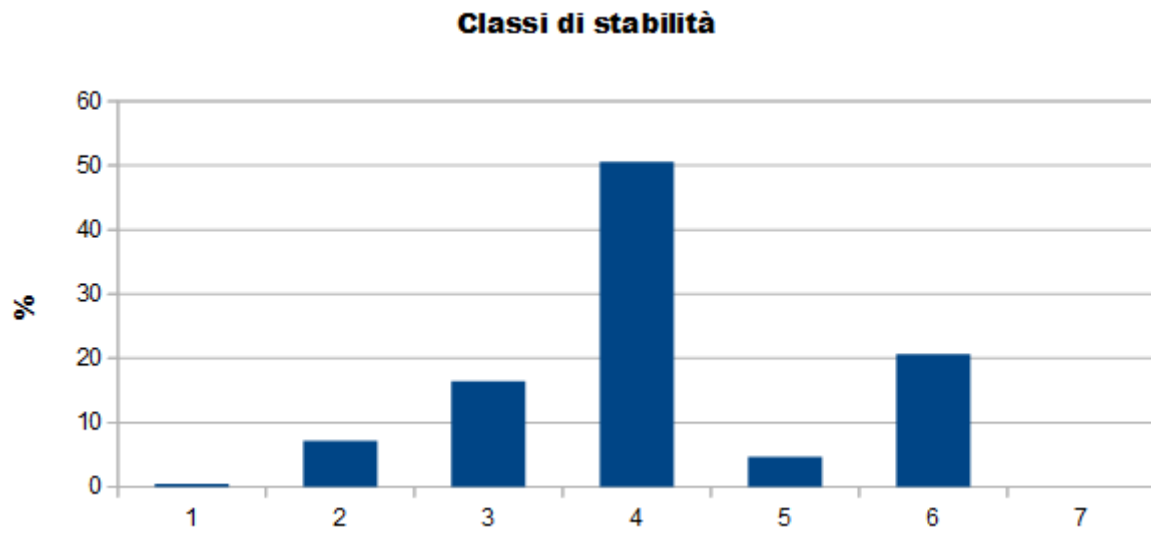


**Figura 8.31. Temperature del periodo di monitoraggio**

#### CLASSI DI STABILITA'

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 *Figura 4.1*. 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 8.32* 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 per il periodo di monitoraggio. 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 maggiore si riscontra nel caso di situazione neutra (> 50 %).

La *Figura 8.32*, mostra la distribuzione oraria delle classi di stabilità, elaborate dal processore meteorologico CALMET. La classe riscontrata più frequentemente durante il periodo di monitoraggio considerato è la classe 4 (o D), ossia quella neutra.



*Figura 8.32. Distribuzione oraria delle classi di stabilità*



## **9 MONITORAGGIO IN CONTINUO MEDIANTE SISTEMA OLFATTIVO ELETTRONICO**

### **9.1 NASO ELETTRONICO**

Nel capitolo 7 sono state discusse ampiamente le caratteristiche del sistema olfattivo elettronico. Nei paragrafi seguenti verrà illustrato, invece, il monitoraggio condotto in questo studio.

### **9.2 ADDESTRAMENTO DEL NASO ELETTRONICO**

I dati ottenuti dal monitoraggio con il naso elettronico, cioè l'insieme delle risposte dei sensori che generano le impronte olfattive delle fonti emmissive, possono essere interpretati come punti in uno spazio multidimensionale; la complessità di tale rappresentazione viene ridotta grazie alla tecnica matematica di analisi delle componenti principali (PCA), che costituisce lo strumento statistico più usato in questi casi, e che permette di visualizzare ogni misura del naso elettronico in un grafico a due o tre dimensioni (le componenti principali), sufficienti a rappresentare completamente il modello di riconoscimento delle fonti. Dall'analisi PCA dei campioni di addestramento è perciò possibile valutare se lo strumento è in grado di effettuare un adeguato riconoscimento (evidenziato da una buona separazione visiva tra i campioni derivanti dalle diverse sorgenti), mantenendo al tempo stesso una buona linearità tra le diluizioni delle stesse. L'elaborazione PCA delle sorgenti campionate, ha portato all'esclusione di una di queste, quella relativa al CSS, per la quale il naso non è riuscito a produrre un' identificazione certa.

Sono state, in questo modo, fissate 8 classi olfattive di addestramento, così denominate:

- Area Coltivazione (discarica): tale etichetta viene assegnata nel caso in cui il naso elettronico ritiene che l'origine più probabile sia aria proveniente dall'Area Coltivazione (discarica).
- Pozzetto Percolato: tale etichetta viene assegnata nel caso in cui il naso elettronico ritiene che l'origine più probabile sia aria proveniente dal pozzetto percolato.
- Biotunnel: tale etichetta viene assegnata nel caso in cui il naso elettronico ritiene che l'origine più probabile sia aria proveniente dal Biotunnel.
- Cumulo Magazzino: tale etichetta viene assegnata nel caso in cui il naso elettronico ritiene che l'origine più probabile sia aria proveniente dal Cumulo Magazzino.
- Fanghi Uscita: tale etichetta viene assegnata nel caso in cui il naso elettronico ritiene che l'origine più probabile sia aria proveniente dai Fanghi in Uscita.
- Fanghi Ingresso: tale etichetta viene assegnata nel caso in cui il naso elettronico ritiene che l'origine più probabile sia aria proveniente dai Fanghi in Ingresso.
- Vasca Decantazione Fanghi: tale etichetta viene assegnata nel caso in cui il naso elettronico

ritiene che l'origine più probabile sia aria proveniente dalla vasca di decantazione.

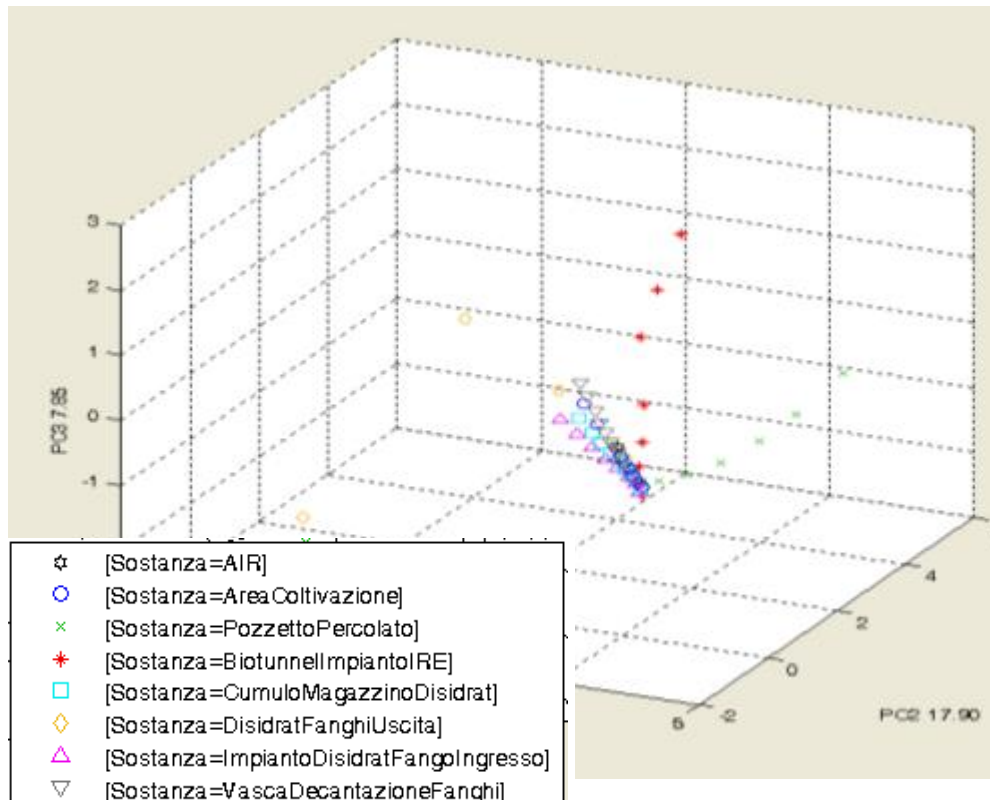
- AIR (aria pulita): tale etichetta viene assegnata nel caso in cui il naso elettronico ritiene che il campione di aria analizzato corrisponda ad aria inodore.

Inoltre, sono identificate, per default, dallo strumento altre due classi, così denominate:

- UN (non definito): tale etichetta viene assegnata in caso di campione di aria sconosciuto al naso elettronico oppure in caso di insufficiente riconoscimento associabile alle classi olfattive con le quali il naso è stato addestrato.
- NO (sistema in calibrazione): tale etichetta viene assegnata nei periodi in cui il naso elettronico esegue le operazioni di calibrazione programmata (che avviene periodicamente ogni 26 ore) o nei casi in cui il sistema di autodiagnostica strumentale non ritenga attendibili le condizioni di misura e, di conseguenza, non effettua la misura ed il riconoscimento in questi periodi temporali.

La *Figura 9.1* rappresenta l'elaborazione PCA conclusiva ottenuta sui rilievi del sistema olfattivo elettronico nelle 8 classi olfattive di addestramento (sorgenti) ed evidenzia la separazione tra le tipologie dei campioni di aria odorosa: tale presupposto è condizione fondamentale affinché possa avvenire l'eventuale riconoscimento delle singole fonti odorigene sui campioni di aria da indagare, rispetto all'aria inodore. L'esame di tale rappresentazione permette di evidenziare come la zona della figura in cui si addensano maggiormente i punti che rappresentano le varie tipologie di campioni, è riferibile ai campioni con le concentrazioni minori, maggiormente simili all'aria pulita anche comunque distinguibili da essa. I più lontani corrispondono, invece, ai campioni tal quali o comunque più concentrati: essi vengono percepiti dal naso elettronico come ben diversi dall'aria inodore. Dall'analisi risulta che il pozzetto percolato, il biotunnel, i fanghi in uscita e la vasca decantazione, sono spazialmente distanti e quindi il naso li riconosce facilmente. Inoltre, per questi punti, sussiste una corrispondenza con l'analisi olfattometrica. Per la discarica, invece, i punti risultano spazialmente vicini all'aria di fondo e quindi, in base all'analisi PCA è possibile che il naso non riesca a riconoscere tale sorgente. Una considerazione doverosa è rivolta al 'bianco', che risulta poco attendibile, poiché ci potrebbero essere odori provenienti dalle sorgenti, ma riconosciuti dal naso come 'bianco' non dovrebbero superare una determinata soglia. Infine, i dati sono stati caricati al naso per dare inizio al monitoraggio in continuo. I rilievi effettuati con il sistema olfattivo elettronico hanno avuto inizio il 13 Luglio 2016 e sono terminati il 9 Settembre 2016. Grazie al sistema di trasmissione dati a distanza, è stato possibile valutare le condizioni di funzionamento e acquisizione dati direttamente dalla sede Arpae sezione di Modena. Questa modalità di controllo ha annullato i sopralluoghi presso il sito in cui era collocato lo strumento.

Il sistema olfattivo elettronico effettua l'elaborazione in continuo delle rilevazioni, assegnando a ciascun campione un'etichetta corrispondente all' origine più probabile tra quelle con le quali lo strumento è stato addestrato. La distanza dalle sorgenti, gli effetti di diluizione e di rimescolamento dell'aria, anche con altre sorgenti non necessariamente odorigene, comportano il fatto che non sempre il naso elettronico riesca a distinguere con sufficiente margine percentuale le sorgenti di interesse; nei casi, in cui il sistema non differenzia le sorgenti in modo apprezzabile, o non riesca a ricondurle ai campioni di addestramento, il relativo rilevamento non viene assegnato.



**Figura 9.1. Analisi PCA conclusiva**

### 9.3 COLLOCAZIONE NASO

Il naso elettronico, in seguito all'addestramento, è stato posizionato presso la sentinella ANT1, come mostrato in *Figura 9.2*, ossia quella che ha compilato in modo più accurato la scheda di segnalazione dell'odore e che spesso è presente in casa, ed è inoltre una delle sentinelle più vicine all'impianto.



*Figura 9.2. Posizione naso elettronico*

### 9.4 RILIEVI METEOROLOGICI ABBINATI ALLE SEGNALAZIONI

Gli eventi di disturbo olfattivo rilevati ed annotati dalle persone durante l'indagine, sono stati abbinati ai dati meteorologici rilevati dalla stazione meteorologica prossima all'impianto e alle sentinelle, la stazione Zorabini, come mostrato in *Figura 9.3*, con particolare riferimento alla direzione di provenienza del vento, parametro strettamente connesso alle aree in cui possono potenzialmente ricadere gli odori. L'abbinamento fra segnalazioni e direzione di provenienza del vento può permettere di evidenziare se, in occasione delle segnalazioni, si possano individuare condizioni meteorologiche particolari che consentono di avvalorare ipotesi sulla provenienza degli odori.



**Figura 9.3. Posizionamento sentinelle, stazione meteorologica e impianto oggetto ad esame**

In Allegato C sono riportati i resoconti di tutte le segnalazioni, indipendentemente dall'eventuale fonte di origine indicata dal segnalante, suddivise per giorno e ora. Le schede restituite dai cittadini risultano generalmente compilate correttamente, senza annotazioni particolarmente rilevanti o indicazioni relative a odori presunti e con l'indicazione precisa del giorno, del periodo e dell'intensità del fenomeno odorigeno percepito.

I giorni complessivi di monitoraggio sono stati 62, corrispondenti a 1488 ore. Complessivamente i cittadini hanno segnalato circa 209 ore di disturbo olfattivo suddivise in 52 giornate, corrispondenti al 14% del tempo di segnalazione.

Un esame sommario delle tabelle riassuntive, mostra come le segnalazioni avvengano frequentemente tra le 6 e le 22.

Delle 209 ore di segnalazione, 164 ore sono attribuibili al periodo diurno e 45 ore al periodo serale/notturno.

Per 40 ore, sul totale di quelle segnalate (pari al 2.7% del tempo totale), si sono rilevate segnalazioni contemporaneamente da più cittadini: in tali momenti, presumibilmente, l'odore era ben percepibile ed esteso spazialmente sul territorio. Le elaborazioni e le considerazioni precedenti sono da leggere alla luce di alcune supposizioni ed approssimazioni necessariamente introdotte nelle indagini al fine di effettuare le elaborazioni dei dati e che, in alcuni casi, possono incidere significativamente sulla stima del problema.

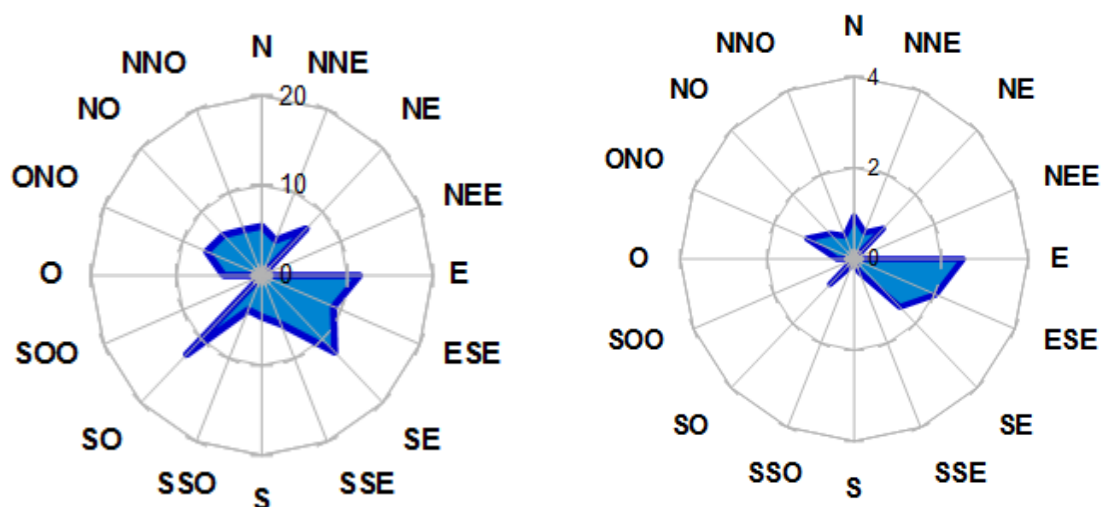
Infatti è necessario considerare che:

- sono state considerate tutte le segnalazioni pervenute, al fine di avere un quadro conoscitivo globale della problematica, anche se ragionevolmente non sempre gli eventi segnalati possono essere attribuibili all'attività produttiva oggetto di indagine. A tale proposito infatti, la D.G.R. 15 febbraio 2010 n. IX/3018 emanata dalla Regione Lombardia, indicherebbe di escludere dalle elaborazioni quelle segnalazioni oggettivamente incompatibili con l'attività produttiva oggetto di indagine, ad esempio per ragioni connesse alla direzione dei venti. La maggior parte delle segnalazioni riporta l'ora di percezione dell'odore arrotondata all'ora intera o alla mezz'ora: ciò appare una semplificazione introdotta dal segnalante nella compilazione dell'agenda di odore piuttosto che una caratteristica dell'evento odorigeno. Le persone incaricate delle annotazioni, generalmente, possono non essere presenti in maniera continuativa presso la propria abitazione a causa di impegni lavorativi, familiari, abitudini personali- ecc. : la concentrazione di segnalazioni in taluni orari può dipendere anche da tali fattori. Il numero delle segnalazioni nelle ore centrali della giornata, ad esempio, è ragionevolmente influenzato dalle attività quotidiane che impegnano i segnalanti, mentre la scarsità di segnalazioni nelle ore notturne è sicuramente influenzata dai periodi di sonno.
- le persone che effettuano i rilevamenti hanno sensibilità diversa al recepimento di odori molesti; pertanto, così come segnalazioni contemporaneamente da più cittadini indicano una presumibile presenza certa di odore, le segnalazioni singole possono essere in parte dovute ad eventi confondenti o di modesta entità.

La DGR Lombardia n°IX/3018 del 15/02/2012 indica che, in presenza di un superamento di un valore medio di 15 ore di disturbo olfattivo/mese (corrispondente al 2% delle ore monitorate) per un tempo di monitoraggio di un trimestre, il problema delle emissioni odorigene sia da ritenere meritevole di valutazioni più approfondite. Le segnalazioni di odore complessive nei 62 giorni di indagine, sia singole che effettuate contemporaneamente da più persone, comprendenti l'1,4% dell'intero periodo di monitoraggio, non sono risultate superiori alla suddetta soglia: è pertanto ragionevole ritenere trascurabile la problematica in oggetto.

Altri risultati sono ottenuti paragonando complessivamente le segnalazioni ed i dati meteorologici rilevati sia nel periodo completo di indagine, sia nelle specifiche ore di odore. La successiva *Figura 9.4* descrive la distribuzione delle direzioni di provenienza del vento mediante rappresentazioni con rose dei venti (rappresentazione grafica in cui è indicata, in termini di percentuale di tempo, l'importanza delle diverse direzioni di provenienza dei venti): sono riportate rispettivamente le

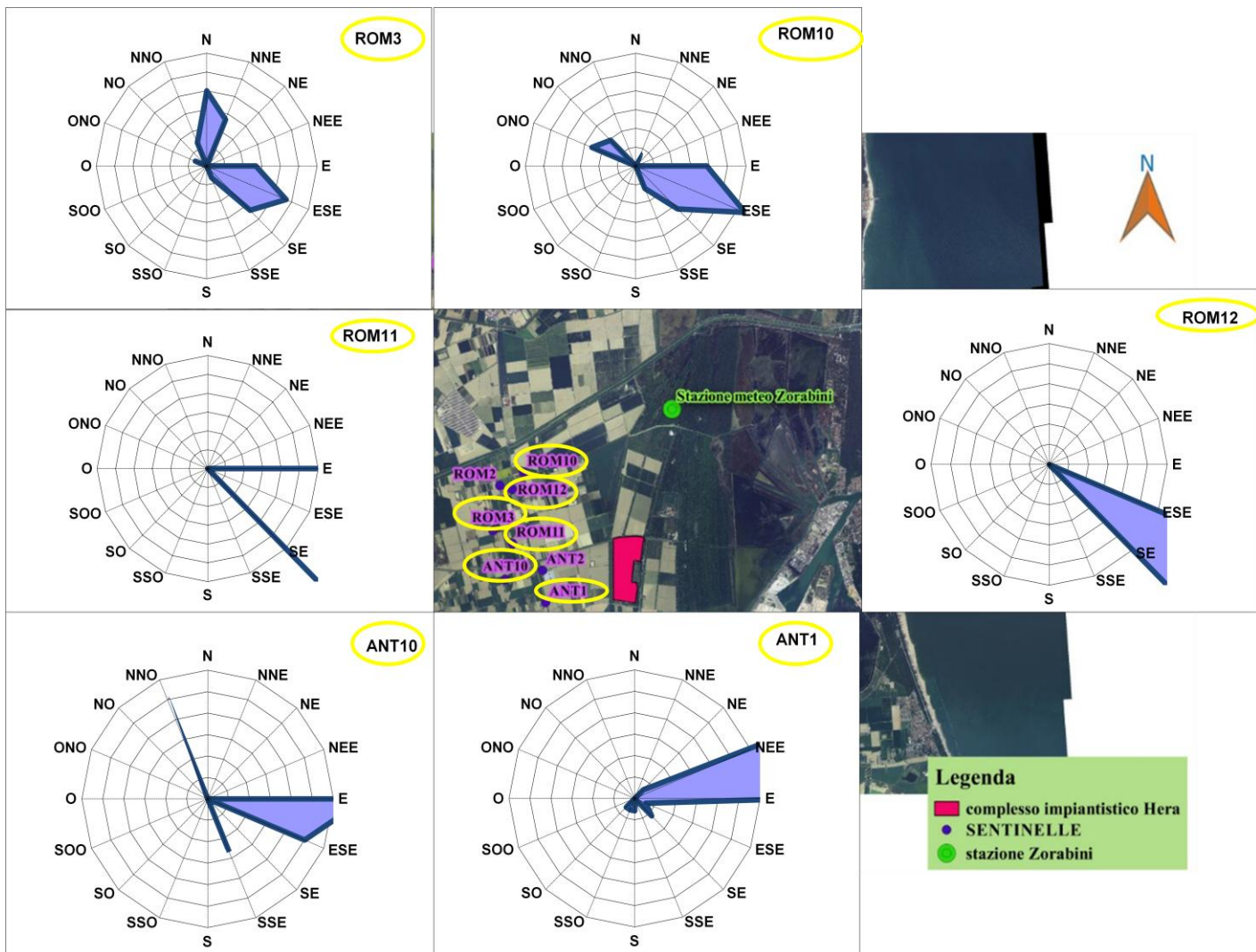
elaborazioni relative al periodo complessivo di indagine (figura a sinistra) e ai soli orari di segnalazione (figura a destra).



*Figura 9.4. Direzione di provenienza dei venti del periodo complessivo di monitoraggio (figura a sinistra) e nei soli periodi di segnalazione odori (figura a destra)*

Un sommario esame delle figure evidenzia che nel periodo complessivo le direzioni di provenienza da Sud - Ovest e Sud – Est sono quelle più frequenti, mentre in occasione degli episodi di odore si ha un significativo incremento di importanza della direzione Est: la corrispondente ricaduta degli eventuali odori sarebbe perciò orientata a Ovest del comparto.

Le sentinelle che hanno manifestato episodi di molestie olfattive sono prevalentemente quelle il cui abitato è situato a Ovest delle sorgenti imputate, come mostrato dalla *Figura 9.5*.



**Figura 9.5. Direzione del vento prevalente, associato alle segnalazioni delle abitazioni poste a Ovest dell'impianto**

Il risultato della elaborazione incrociata tra segnalazioni e dati meteorologici, nel rispetto delle assunzioni di piena compatibilità sopra descritte, evidenziano un significativo numero di segnalazioni ascrivibili all'impianto. In particolare:

- su 209 ore complessive di odore segnalate, 98 ore ( corrispondenti a circa il 47% del totale) risultano perfettamente compatibili con la direzione corrispondente all'impianto.
- Delle 40 ore di odore rilevate contemporaneamente da più cittadini, 29 ore ( corrispondenti al 72.5% delle ore a segnalazione multipla) risultano perfettamente compatibili con la direzione corrispondente all'impianto. Tali periodi corrispondono a quasi il 2% del tempo complessivo di indagine ed in tali momenti, presumibilmente, l'odore era ben percettibile e diffuso in un' ampia zona dell'abitato.

Considerando, pertanto, le possibili sottostime non quantificabili introdotte con le assunzione fatte al fine di validare le singole segnalazioni, le elaborazioni evidenziano che almeno il 47% delle singole segnalazioni è oggettivamente compatibile con l'impianto oggetto ad esame, percentuale



che aumenta al 72.5% nel caso di segnalazioni multiple che, presumibilmente, indicano che l'odore era ben percettibile e diffuso in una ampia zona dell'abitato. Gli episodi/mese di odore correlabili alla fonte odorigena individuata, sull'intero periodo di indagine, non superano la soglia di tollerabilità stabilita dalla DGR Lombardia fissata al 2% del tempo (15 ore di odore/mese) anche se va considerato che, in quest'ultima normativa tecnica, si suggeriscono periodi di monitoraggio di almeno 3 mesi.

## 9.5 RILIEVI CON NASO ELETTRONICO: ESAME COMPLESSIVO DEI DATI

Il sistema olfattivo elettronico effettua l'elaborazione in continuo delle rilevazioni, assegnando a ciascun campione un'etichetta corrispondente all'origine più probabile tra quelle con le quali lo strumento è stato addestrato e che, nel caso specifico, corrispondono ai campioni prelevati nell'azienda oggetto di indagine. La distanza dalle sorgenti, gli effetti di diluizione e di rimescolamento dell'aria, anche con altre sorgenti non necessariamente odorigene, comportano il fatto che non sempre il naso elettronico riesca a distinguere con sufficiente margine percentuale le sorgenti di interesse; nei casi, in cui il sistema non differenzia le sorgenti in modo apprezzabile, o non riesca a ricondurle ai campioni di addestramento, il relativo rilevamento non viene assegnato.

Le elaborazioni, sulla base di quanto emerso in fase di addestramento, sono state effettuate assegnando ai campioni una delle 8 categorie o etichette, descritte nel paragrafo 9.2.

Le elaborazioni sono riassunte in alcune tabelle e grafici in cui, per ciascun periodo di rilevazione di interesse, viene riportata la percentuale di tempo in cui il naso elettronico ha chiaramente distinto una delle sorgenti per cui è stato addestrato.

La successiva Tabella 9.6 riassume l'insieme dei rilevamenti effettuati dal naso elettronico nel periodo complessivo di indagine, espressi in termini di percentuale di tempo ascrivibile alle diverse sorgenti. Il parametro NO corrisponde ai periodi di calibrazione dello strumento (747 in tutto, corrispondenti a circa il 13% del periodo totale).

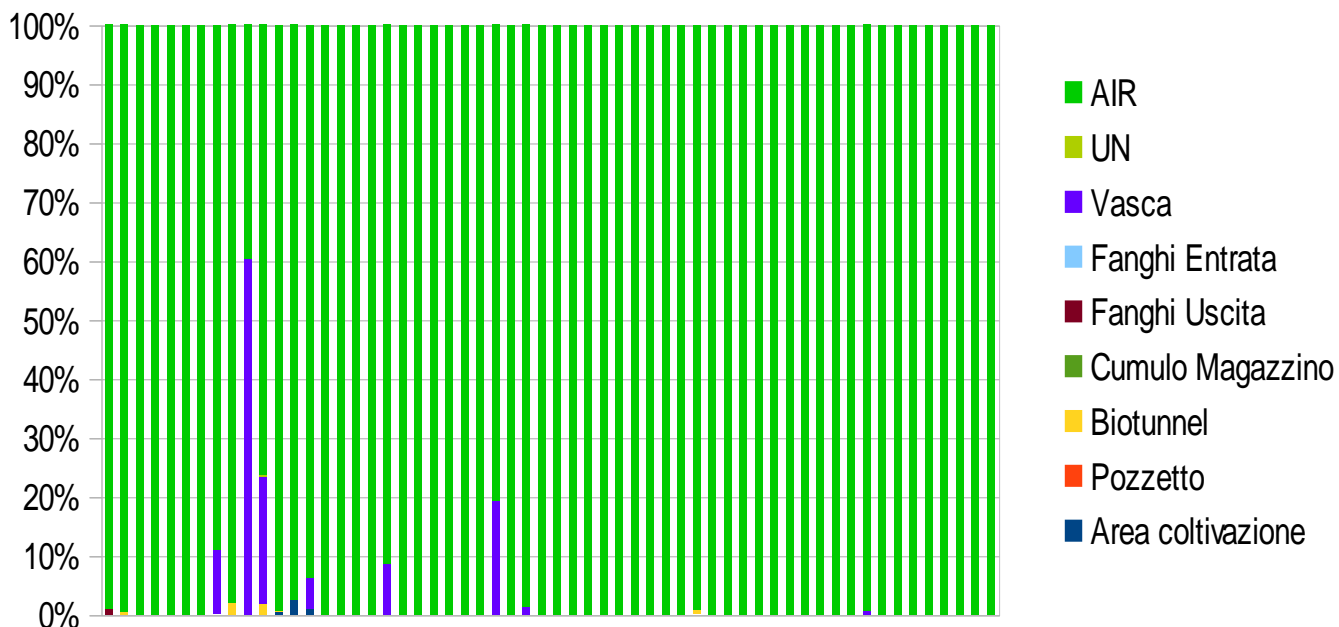
La *Figura 9.7* costituisce il riassunto in formato grafico della suddetta tabella.

**Tabella 9.6. Sorgenti rilevate dal naso elettronico durante l'intero periodo di monitoraggio**

	Area coltivazione	Pozzetto	Cumulo Biotunnel Magazzino	Fanghi Uscita	Fanghi Entrata	Vasca	UN	AIR	NO	TOTALE RISULTATO	
13/07/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	46	54	100
14/07/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
15/07/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
16/07/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
17/07/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
18/07/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
19/07/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100

20/07/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
21/07/2016	0	0	2	0	0	0	0	0	91	7	100
22/07/2016	0	0	0	0	0	0	57	0	37	6	100
23/07/2016	0	0	2	0	0	0	20	0	72	6	100
24/07/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	93	6	100
25/07/2016	2	0	0	0	0	0	0	0	86	12	100
26/07/2016	1	0	0	0	0	0	5	0	81	14	100
27/07/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
28/07/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
29/07/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	88	12	100
30/07/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
31/07/2016	0	0	0	0	0	0	7	0	77	16	100
01/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	86	14	100
02/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100
03/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	87	13	100
04/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	93	7	100
05/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
06/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
07/08/2016	0	0	0	0	0	0	18	0	76	6	100
08/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
09/08/2016	0	0	0	0	0	0	1	0	93	6	100
10/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
11/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
12/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
13/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
14/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	96	4	100
15/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	88	12	100
16/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
17/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
18/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	88	12	100
19/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
20/08/2016	0	0	1	0	0	0	0	0	99	0	100
21/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	88	12	100
22/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
23/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
24/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	93	7	100
25/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
26/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
27/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
28/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
29/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	88	12	100
30/08/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
31/08/2016	0	0	0	0	0	0	1	0	99	0	100
01/09/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
02/09/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
03/09/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	87	13	100
04/09/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	86	14	100

05/09/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100
06/09/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
07/09/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	94	6	100
08/09/2016	0	0	0	0	0	0	0	0	86	14	100



**Figura 9.7. Percentuali di riconoscimento delle sorgenti nei diversi giorni del periodo di monitoraggio**

I rilievi effettuati dal naso elettronico consentono di formulare alcune considerazioni:

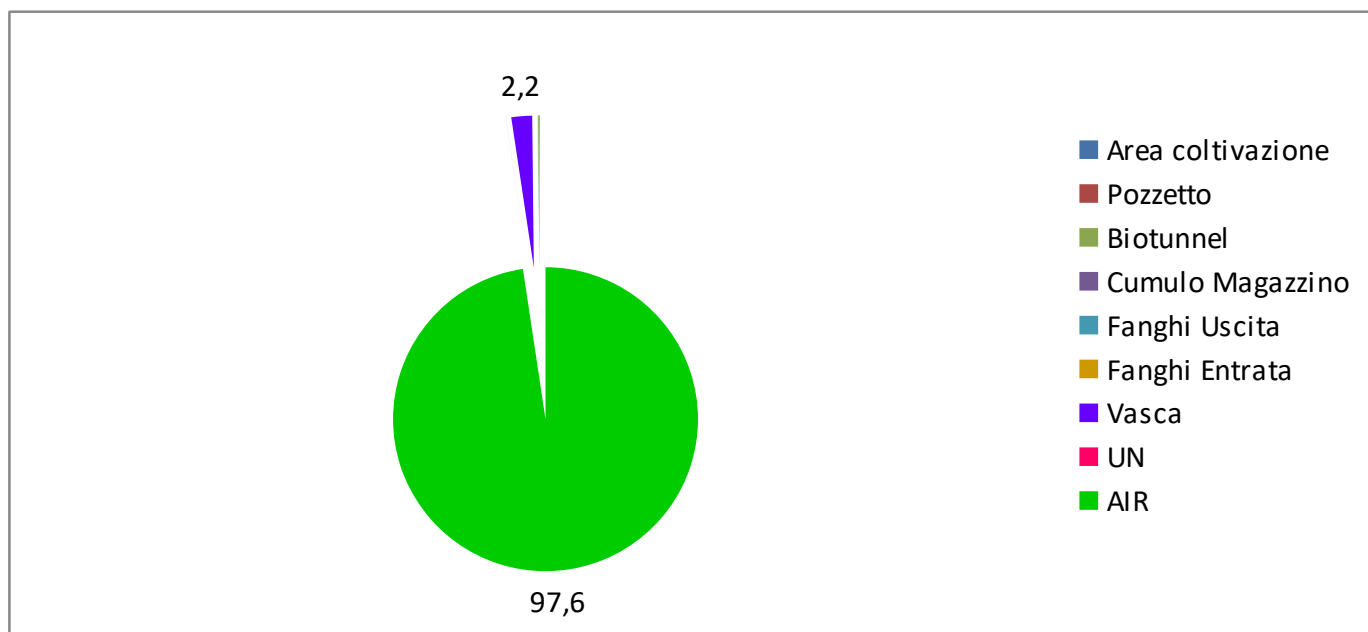
- Nella maggior parte dei giorni in cui sono risultati attivi i rilevamenti con naso elettronico, si rileva una qualità dell'aria associabile prevalentemente a fondi ambientali inodori (etichetta AIR), anche se spesso in queste giornate non mancano i riconoscimenti di durata non trascurabile (anche di alcune ore) associati alle sorgenti dell'impianto.
- Durante l'intero periodo di monitoraggio, l'etichetta UN (campione non definito) è stata associata ai campioni in esame solamente per un numero limitato di volte. Ciò significa che durante il corretto funzionamento del naso elettronico, la quasi totalità dei campioni di aria esaminati era riconducibile ad aria pulita (AIR) o, con sufficiente approssimazione, ad una delle sorgenti dell'impianto. È opportuno ricordare, comunque, che il naso elettronico assegna i riconoscimenti sulla base dei campioni con i quali è stato addestrato; per cui, in presenza di campioni di altra origine ma dalle caratteristiche simili, è comunque probabile che assegni ad esso la responsabilità, determinando così una sovrastima dei riconoscimenti.

- In alcune giornate di monitoraggio il naso elettronico assegna significative percentuali di riconoscimento alle sorgenti dell' impianto oggetto di esame. Tra le emissioni areali passive prese in considerazione, particolarmente frequenti sono i riconoscimenti ascrivibili alle ai campioni prelevati presso la vasca di decantazione fanghi ("Vasca") e presso l'area di coltivazione dei biotunnel ("Biotunnel").

Nella successiva Tabella 9.8(a) e nella *Figura 9.8(b)*, sono riportate le percentuali complessive di riconoscimento assegnate dal naso elettronico alle diverse sorgenti, durante l'intero periodo di monitoraggio.

**Tabella 9.8(a). Percentuali di riconoscimento**

	Area coltivazione	Pozzetto	Biotunnel	Cumulo Magazzino	Fanghi Uscita	Fanghi Entrata	Vasca	UN	AIR	TOTALE
somma	3,7	0	5,2	0	0,9	0	127,7	0,4	5662,1	5800
percentuale	0,1	0	0,1	0	0,02	0	2,2	0,01	97,6	100



**Figura 9.8(b). Percentuali di riconoscimento**

Da ciò si può notare che per il 2% dell'intero periodo di monitoraggio l'odore maggiormente impattante è stato quello imputabile alla 'vasca decantazione fanghi'.

Questo risultato rappresenta perciò un'analisi complessiva che tiene conto dell'intero periodo di monitoraggio, utile a capire se l'impianto in esame in questo studio potrebbe avviare degli interventi volti a migliorare l'impatto odorigeno.

## 9.6 CONFRONTO NASO – SENTINELLA

La sentinella ANT1 ha segnalato 35 ore totali di disturbo olfattivo, di queste, 8 sono risultate in comune con il naso elettronico (posizionato nello stesso sito), la corrispondenza ottenuta (Tabella 9.9) è stata del 15% rispetto al numero totale di percezione del naso.

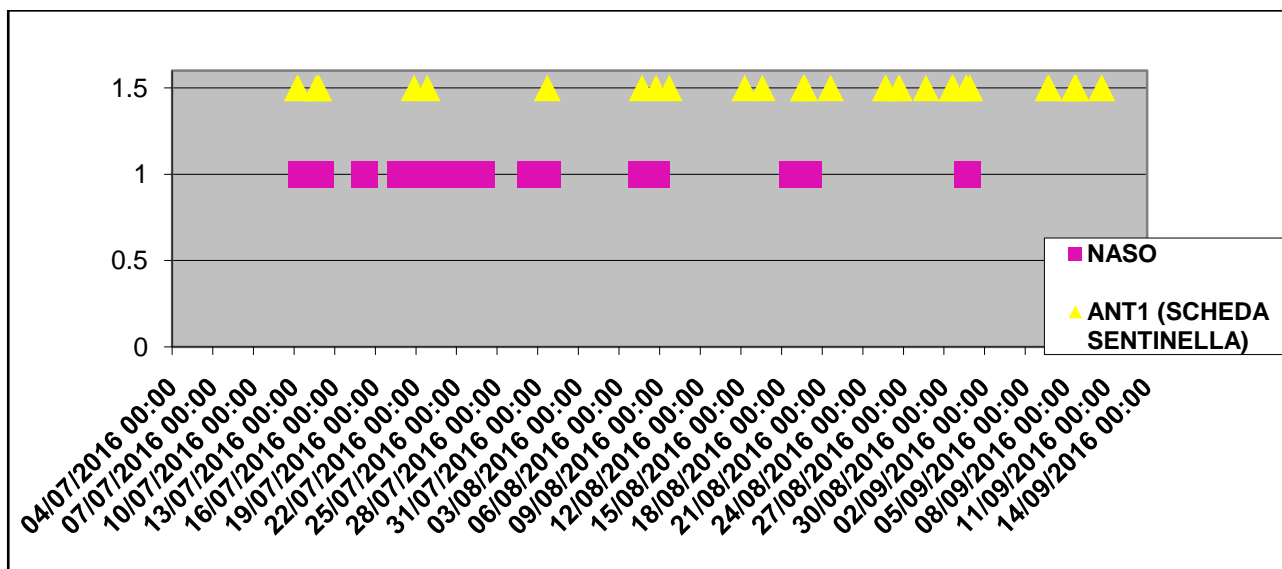
**Tabella 9.9. % corrispondenza sentinella - naso**

CORRISPONDENZA SENTINELLA - NASO	
SEGNALAZIONI SCHEDA ANT1	8
PERCEZIONE NASO	53
%	15

In *Figura 9.10* è possibile osservare ciò che è emerso in precedenza, ovvero che le segnalazioni totali della sentinella ANT1 sono maggiori di quelle del naso.

Per le sole ore in comune tra la sentinella ANT1 ed il naso, è stata verificata la sorgente imputabile, che risulta essere la ‘Vasca’, individuata già nel capitolo precedente come sorgente maggiormente impattante.

Inoltre è da considerare che la sentinella ha segnalato la presenza di altri odori non percepiti dal naso elettronico, dimostrando che il sistema olfattivo elettronico non raggiunge la sensibilità dell’olfatto umano.



**Figura 9.10. Confronto naso - sentinella**

## 10 VALIDAZIONE DEL MODELLO

### 10.1 CONFRONTO FRA NASO, SENTINELLA E MODELLO

In questo studio le stime del modello sono state verificate confrontando le concentrazioni di odore, ottenute con il modello di simulazione di dispersione degli inquinanti, LAPMOD, abbinate al recettore presso il quale è stato posizionato il naso elettronico ed ai risultati dello stesso. Il modello ha restituito concentrazioni di odore espresse in  $\text{OU}/\text{m}^3$  per ogni giorno del periodo di simulazione scelto e per ogni ora. Sono stati rappresentati graficamente i giorni e l'ora in cui il naso e la sentinella, rispettivamente, hanno segnalato la presenza di odore.

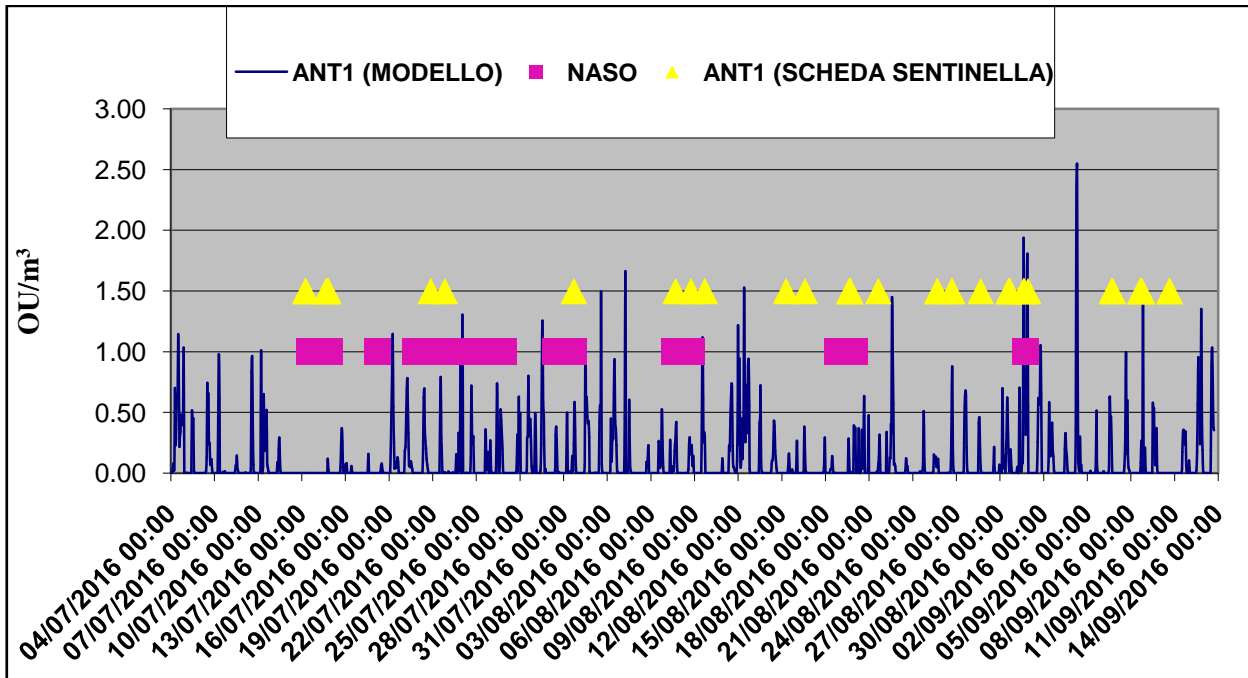
Come già definito nel capitolo precedente, il naso elettronico può aver percepito una sorgente in momenti differenti nel corso della stessa giornata in cui c'è stata una segnalazione anche da parte delle sentinelle. Per tale motivo si è tenuto conto di tutti i momenti, del medesimo giorno, in cui ha percepito una delle sorgenti per il quale è stato addestrato, mentre per la sentinella si sono considerate le ore segnalate, arrotondate all'ora intera. Questo tipo di approccio consente di verificare se ad una segnalazione corrisponde una risposta del modello, ma non di verificare se ad un massimo di concentrazione simulata corrisponda un evento rilevabile. Infatti, all'orario in cui il modello stima le concentrazioni, la sentinella può non essere presente nel luogo di segnalazione e, quindi, non viene registrata la presenza di odore, mentre, il naso elettronico può percepire l'odore in qualsiasi momento in quanto consente di eseguire un monitoraggio in continuo.

Nel capitolo precedente è stato evidenziato che con il naso elettronico è possibile determinare la sorgente maggiormente impattante tra quelle prese in esame; in questo capitolo, invece, come già accennato in precedenza, sono discussi i risultati ottenuti incrociando i dati simulati dal modello di dispersione LAPMOD, con il naso elettronico e con le rilevazioni delle sentinelle.

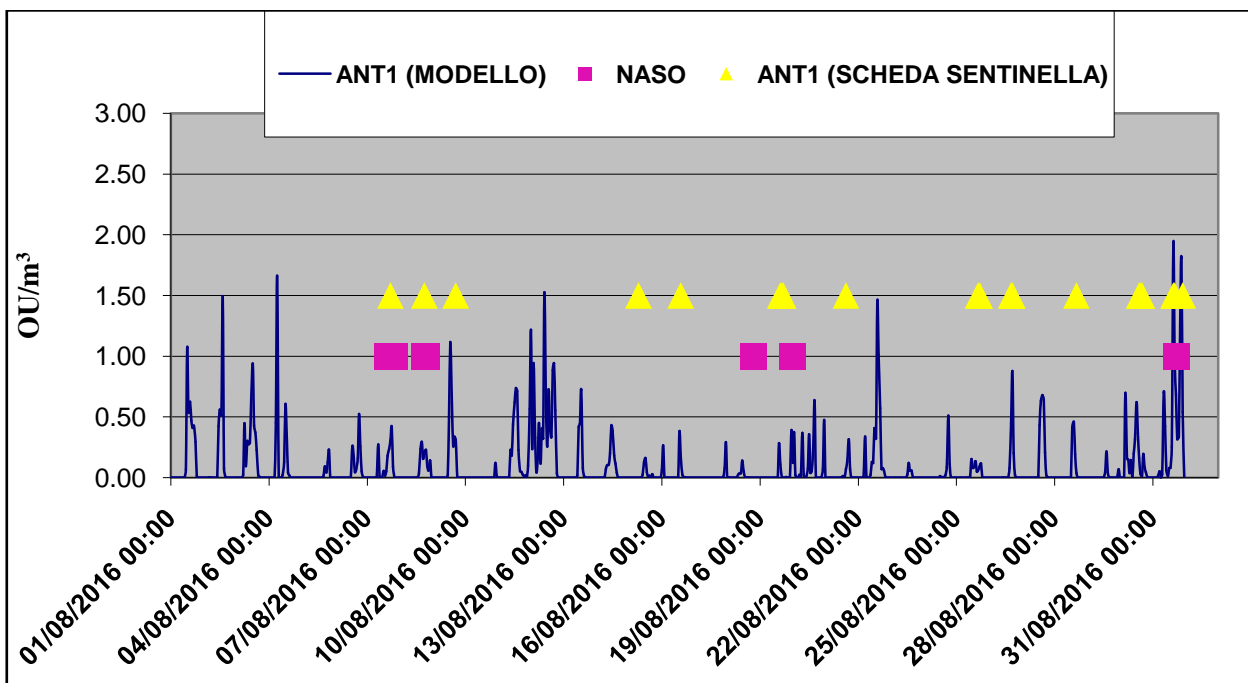
Il confronto è stato eseguito, dapprima tra il modello e la scheda della sentinella ANT1 e poi tra modello e naso. Da ciò è emerso che nel 74% delle ore totali di segnalazione da parte della sentinella anche il modello ha stimato corrispondenti aumenti di concentrazioni di odore. Il naso, invece, ha segnalato la presenza di odore in accordo con il modello per il 51% delle ore totali di percezione.

In *Figura 10.1(a)* è evidenziato il confronto lungo l'intero periodo di monitoraggio, mettendo in ordinata il valore di concentrazione stimato dal modello al recettore corrispondente, in questo caso ANT1, e in ascissa l'intero periodo di monitoraggio. Successivamente è stato inserito un secondo asse, indipendente dalla scala, inerente i periodi nei quali la sentinella e il naso hanno segnato la presenza di un odore, prendendo in considerazione tutti i momenti del medesimo giorno in cui il naso ha riconosciuto un odore.

Infine sono stati analizzati i singoli mesi; tra tutti, il mese che ha riportato la miglior corrispondenza è stato quello di Agosto 2016, come mostrato in *Figura 10.1(b)*.

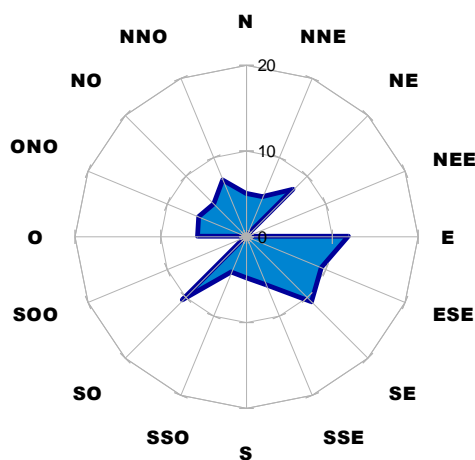


*Figura 10.1(a). Confronto tra naso e sentinella (ANT1)*



*Figura 10.1(b). Confronto tra naso e sentinella (ANT1) mese Agosto 2016*

Individuando, poi, il vento prevalente per il mese di Agosto 2016, si è confermato la direzione Est (Figura 10.2), in accordo con quanto segnalato dalla sentinella.



**Figura 10.2. Direzione prevalente del vento per il mese di Agosto 2016**

Il modello, complessivamente, ha restituito basse concentrazioni (Allegato D) di odore. Tali concentrazioni risultano dipendenti dalla distanza dall’impianto, come si può evincere dalla Tabella 10.3 e dalla relativa Figura 10.4 e, come già affermato nel capitolo precedente, dalla posizione dell’abitato delle sentinelle. A dimostrazione di ciò, sono riportate nel paragrafo successivo il confronto tra le schede compilate dalle sentinelle ed il modello.

**Tabella 10.3 . Media concentrazione di odore durante l’intero periodo di monitoraggio e distanza (Km) dall’impianto per ogni sentinella**

<b>MEDIA OU/m<sup>3</sup></b>	<b>DISTANZA Km</b>	<b>Sentinella</b>
0.09	1.7	ANT1
0.14	1.7	ANT2
0.06	2.4	ROM11
0.06	2.5	ANT10
0.04	2.8	ROM3
0.02	4.5	ANT3
0	7	MAND1
0	7	ALB10
0	7	ALB1
0	7.8	ALB11



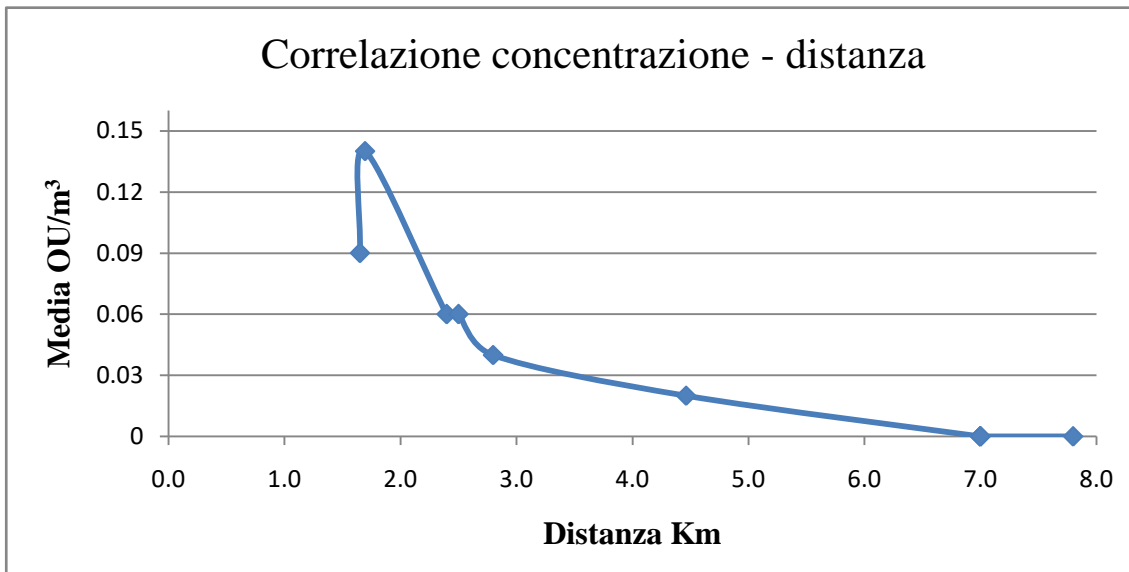


Figura 10.4. Correlazione concentrazione (OU/m<sup>3</sup>) – distanza (Km)

## 10.2 CONFRONTO TRA SENTINELLE E MODELLO

Per validare ciò che è emerso nel paragrafo precedente, è stato eseguito il confronto tra le altre sentinelle ed il modello:

### ANT2

Per la sentinella siglata ANT2 la corrispondenza con il modello è stata del 50%; il migliore accordo si registra nel mese di Agosto 2016 (Figura 10.3). Tale sentinella si trova nelle immediate vicinanze della sentinella ANT1 e quindi ad Ovest del comparto; inoltre, queste due sentinelle si trovano alla minima distanza dall'impianto rispetto alle altre.

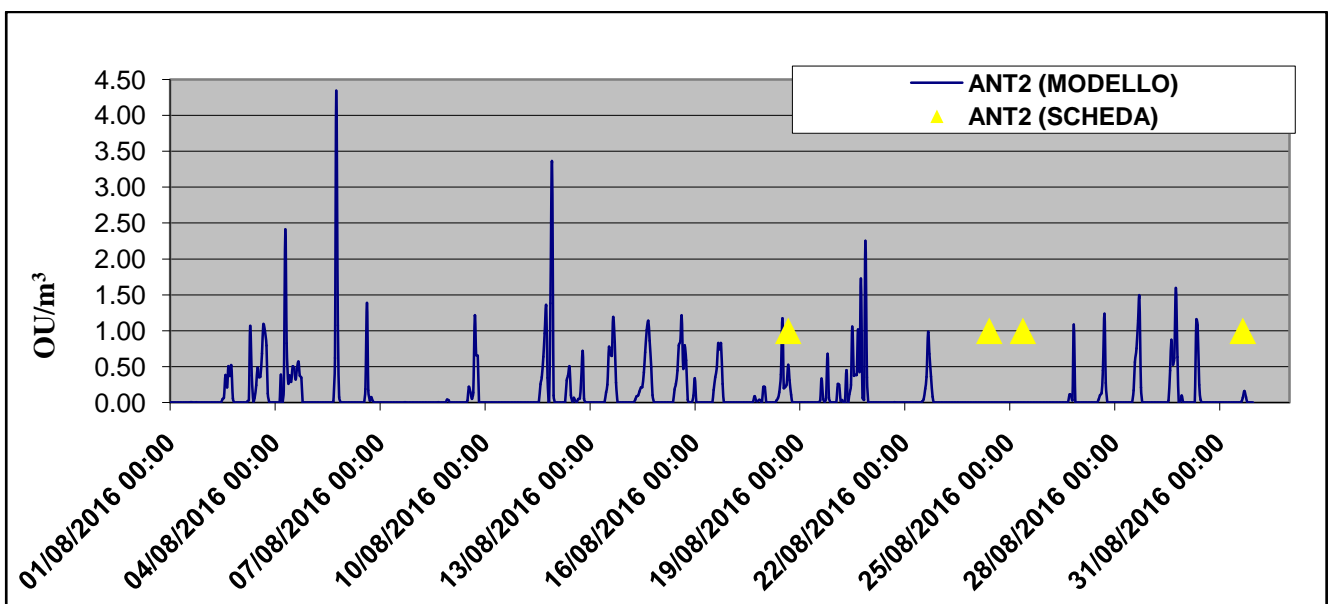
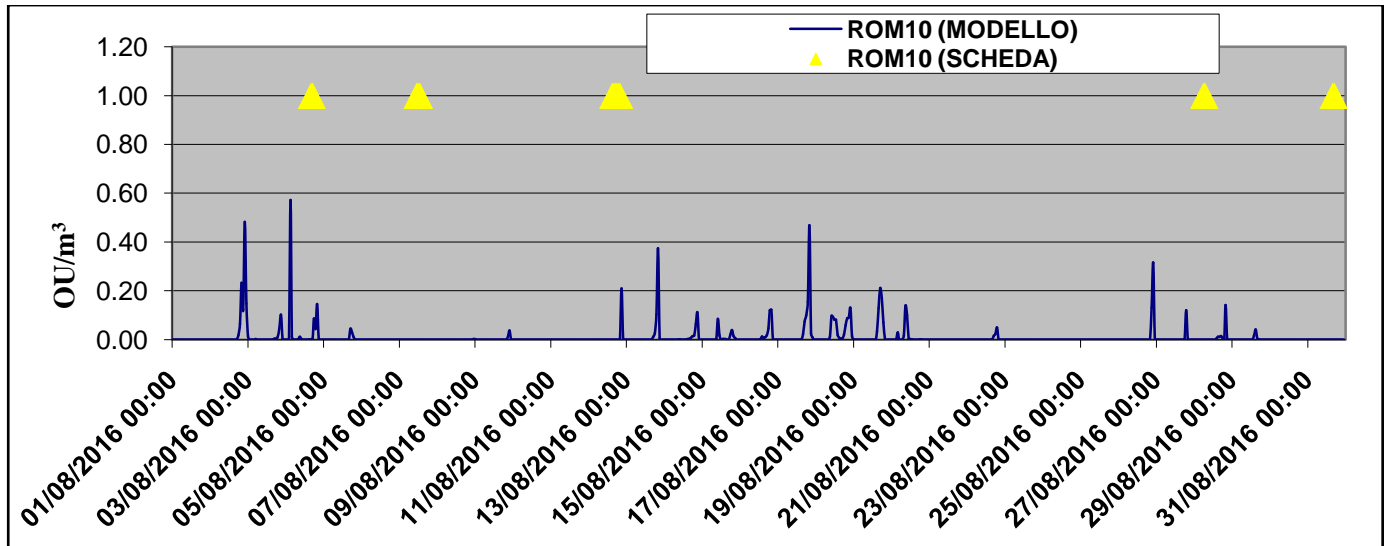


Figura 10.3. Confronto Sentinella ANT2 e modello Agosto 2016

### ROM10

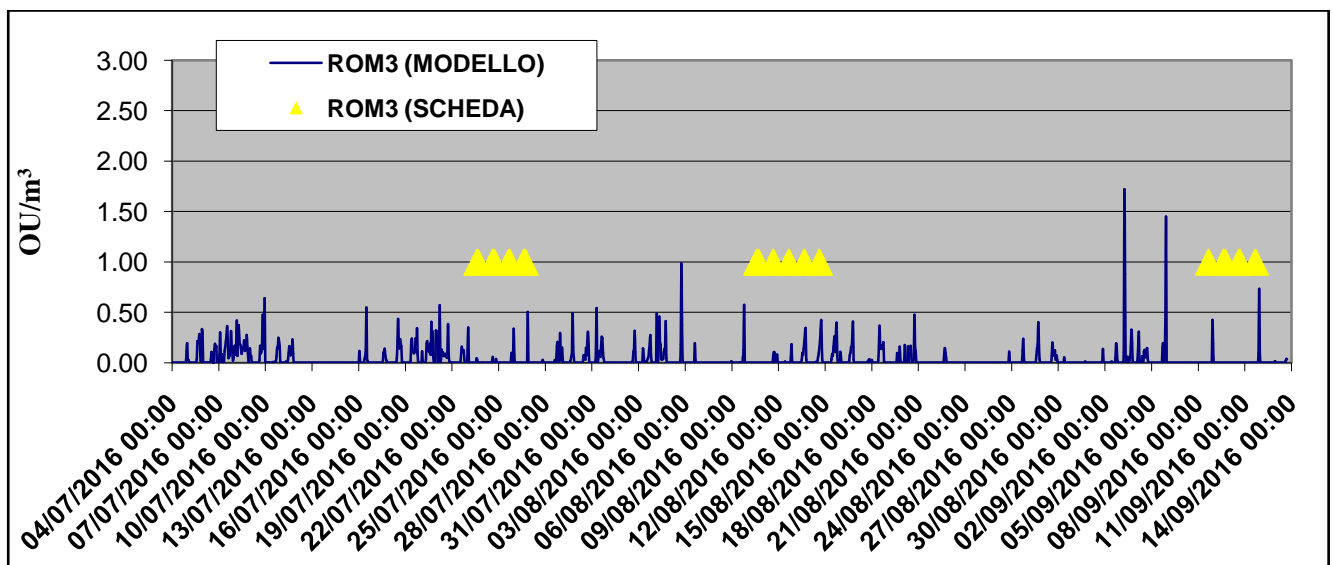
Per la sentinella siglata ROM10 la corrispondenza è stata del 50%. Anche in questo caso le migliori corrispondenze sono risultate nel periodo di Agosto 2016 (*Figura 10.4*); tale sentinella è posta ad Ovest dell'impianto, compatibile con la direzione di provenienza del vento in quel mese, ovvero da Est. La distanza dall'impianto è 2.6 Km.



*Figura 10.4. Confronto sentinella ROM10 e modello Agosto 2016*

### ROM3

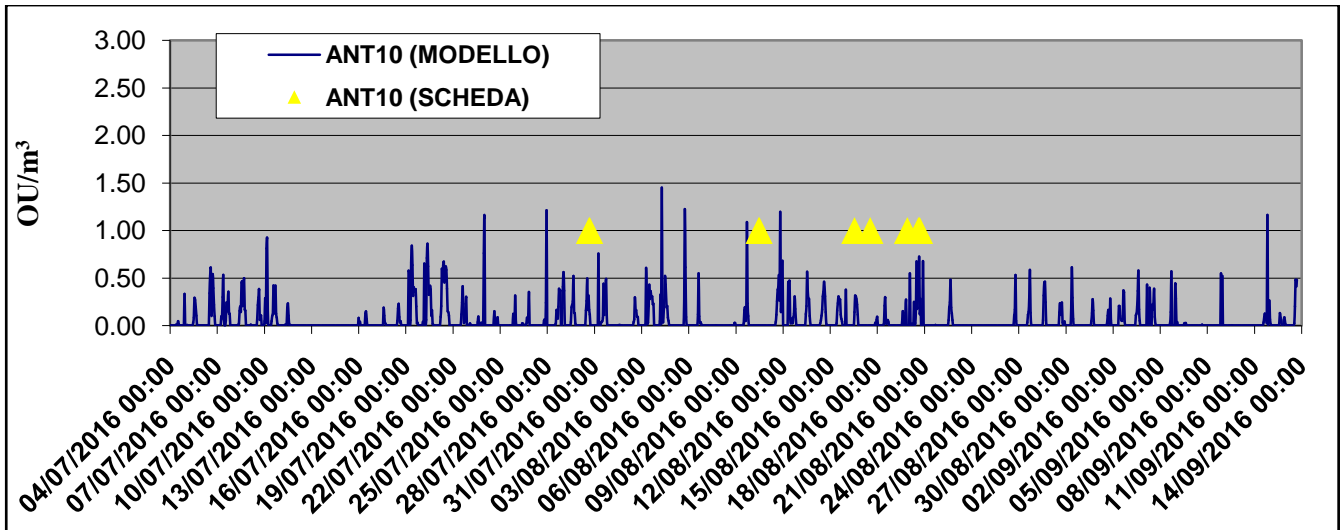
Per la sentinella siglata ROM3 la corrispondenza è stata del 32%. In questo caso le corrispondenze fra segnalazioni e modello sono uniformemente distribuite sull'intero periodo di monitoraggio (*Figura 10.5*), inoltre questa sentinella fa parte di quelle poste ad Ovest dell'impianto e con un distanza da esso inferiore ai 3 Km.



*Figura 10.4. Confronto sentinella ROM3 e modello durante l'intero periodo di monitoraggio*

### ANT10

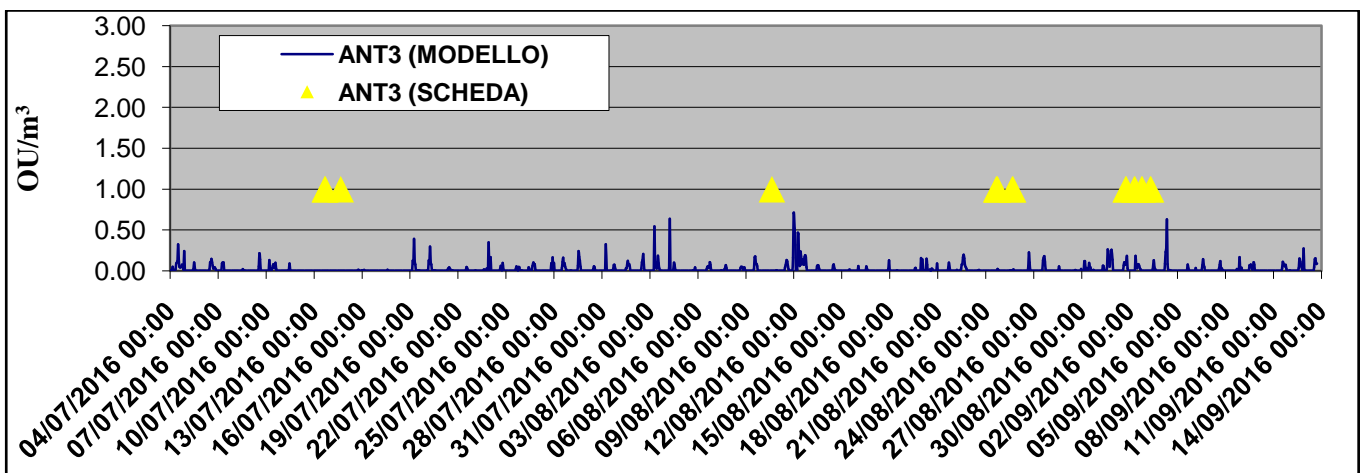
Per la sentinella siglata ANT10 la corrispondenza è stata del 70%. Per l'intero periodo di monitoraggio il modello ha dato dei riscontri di odore e lo stesso la sentinella come si evince dalla *Figura 10.5*. Anche in questo caso la distanza è inferiore ai 3 km e l'abitato è posto ad Ovest dall'impianto.



*Figura 10.5. Confronto sentinella ANT10 e modello durante l'intero periodo di monitoraggio*

### ANT3

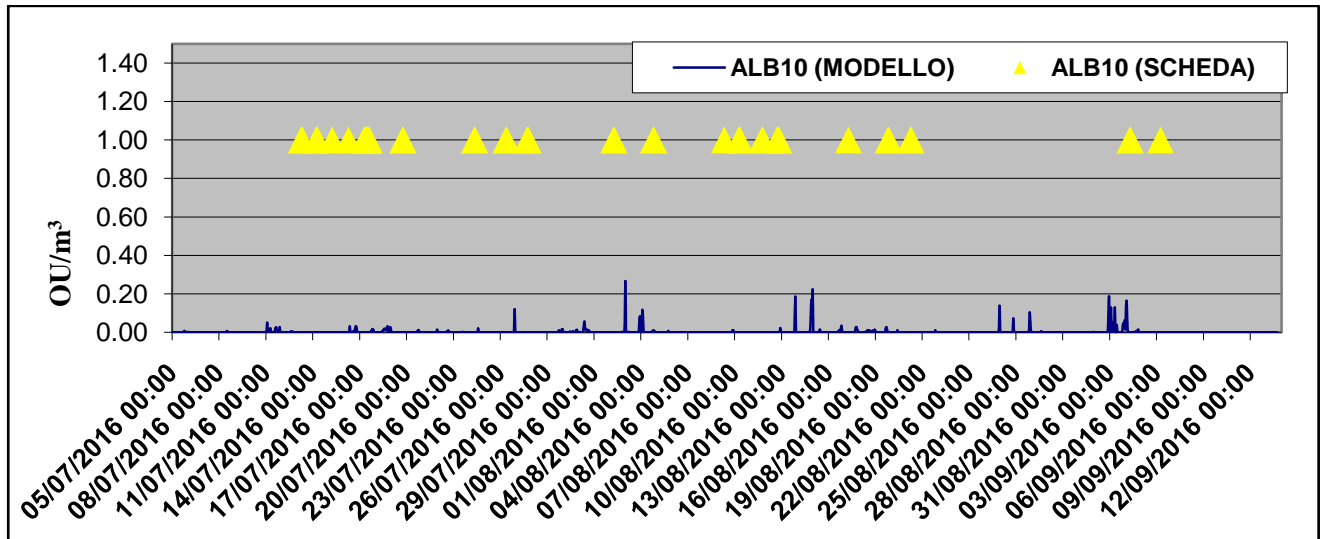
Per la sentinella siglata ANT3, la corrispondenza tra modello e annotazione di odore è stata del 41%, anche se in questo caso, come riportato in *Figura 10.6*, il modello ha restituito concentrazioni sempre inferiori ad 1 UO/m<sup>3</sup> probabilmente perché situato ad una distanza maggiore rispetto alle sentinelle analizzate in precedenza.



*Figura 10.6. Confronto sentinella ANT3 e modello durante l'intero periodo di monitoraggio*

## ALB10

Per la sentinella siglata ALB10, la corrispondenza è stata del 4%. In questo caso il modello ha stimato concentrazioni molto basse, come riportato in *Figura 10.7*. La sentinella è infatti ad una distanza dall'impianto di circa 7 km in direzione Nord rispetto al comparto.



*Figura 10.7. Confronto sentinella ALB10 e modello durante l'intero periodo di monitoraggio*

Successivamente, per le sentinelle più significative, sono stati creati, mediante il software QGIS, istogrammi che evidenziano le percentuali di corrispondenza tra segnalazione e modello determinando, anche, una georeferenziazione delle sentinelle. Infine è stata determinata la direzione del vento prevalente per correlare le percentuali di segnalazione alla direzione del vento. Ad esempio, *Figura 10.8 (a)*, per quanto riguarda la sentinella ANT10, pur annotando un basso numero di segnalazioni, risulta una corrispondenza con il modello di circa il 70%; la sentinella ANT1 ha avuto una corrispondenza del 74%, con un numero maggiore di segnalazioni rispetto la sentinella ANT10. Invece, in *Figura 10.8(b)* è mostrato che la sentinella ALB10, fornendo il più alto numero di segnalazioni tra le sentinelle, ha ottenuto una corrispondenza del 4%. Un' ipotesi può essere che abbia percepito odori che non corrispondano alle sorgenti analizzate. La supposizione trova supporto nella provenienza del vento, non diretto verso la posizione dell'abitato di ALB10.

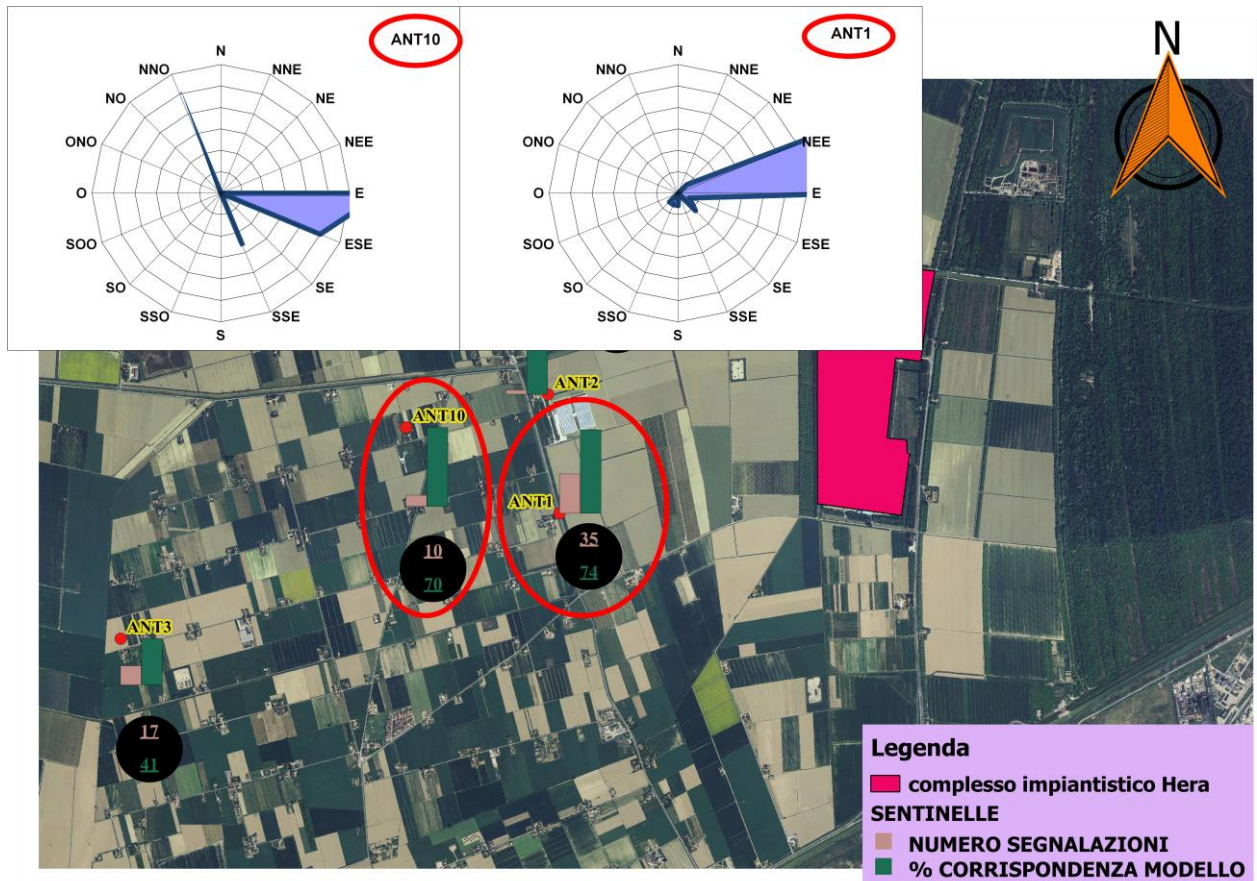


Figura 10.8(a). % corrispondenza modello e segnalatore in relazione alla direzione del vento

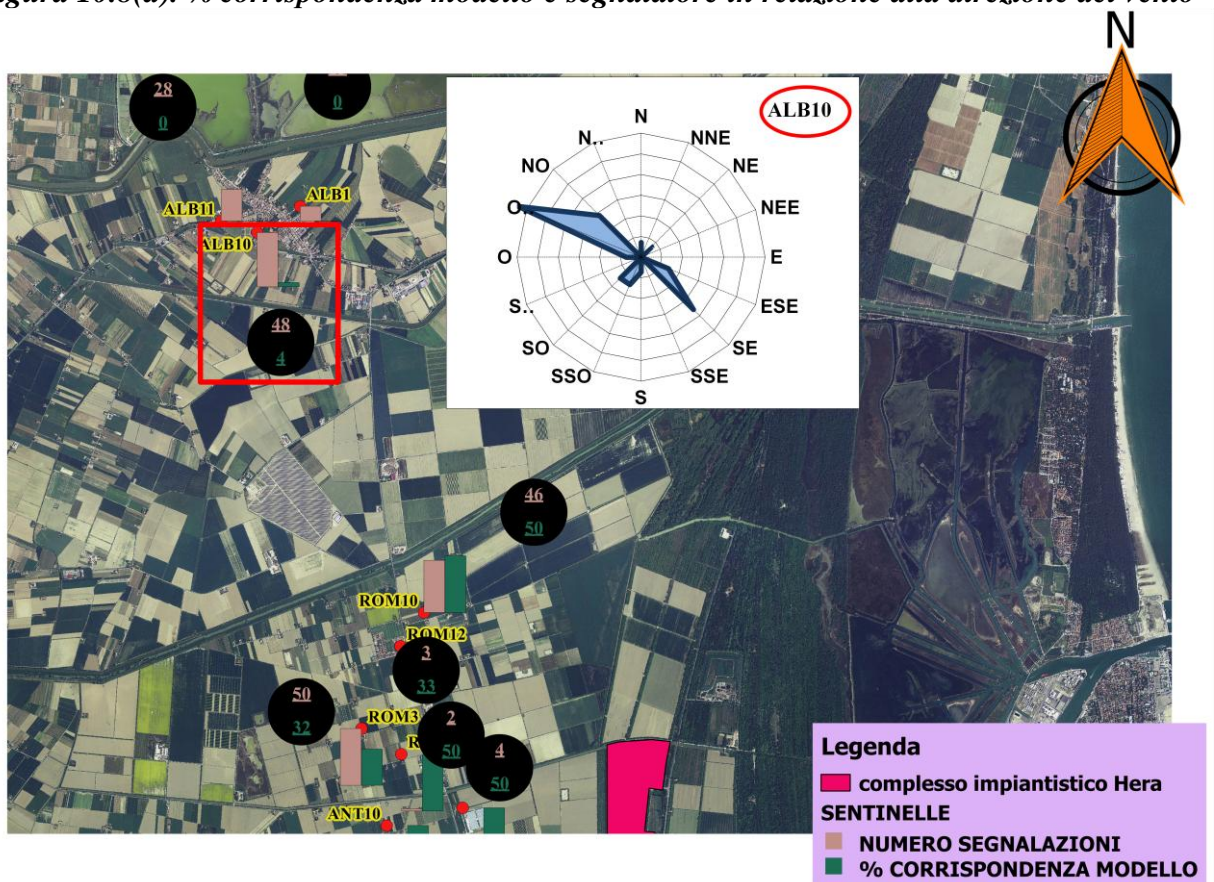
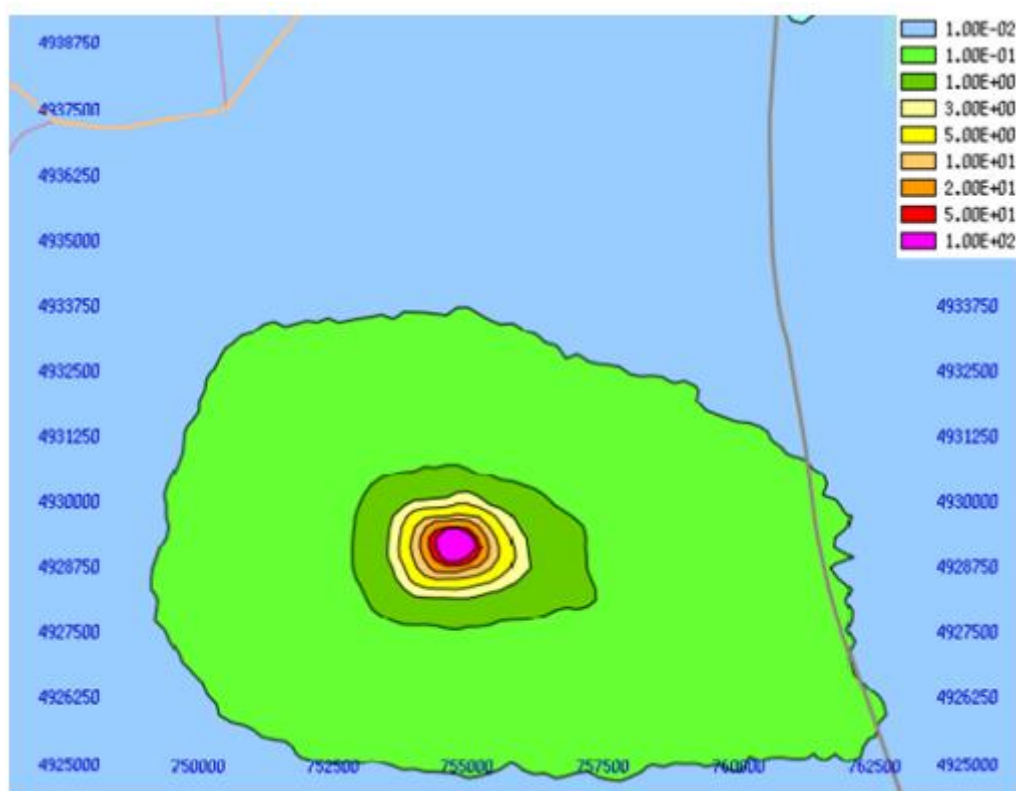
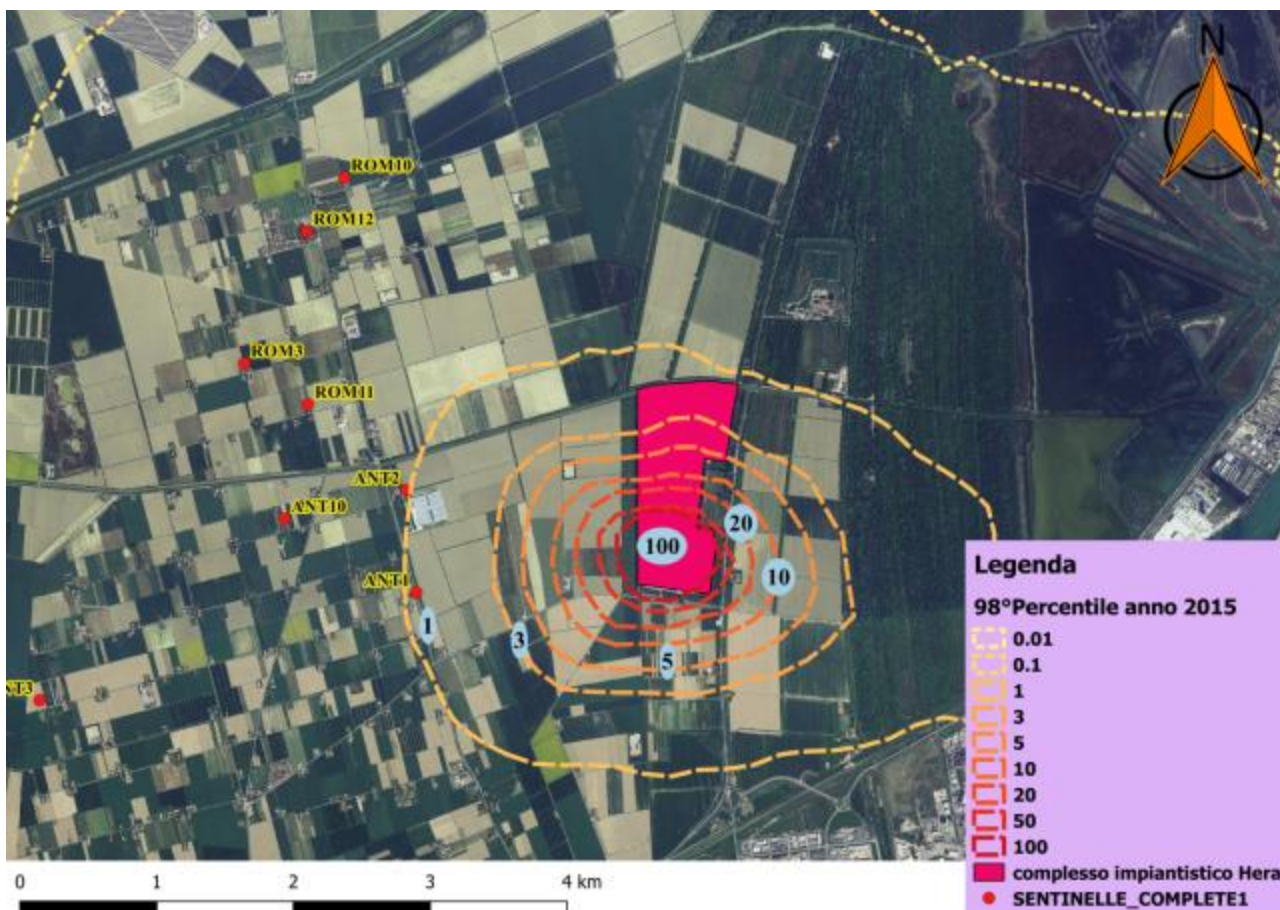


Figura 10.8(b). % corrispondenza modello e segnalatore in relazione alla direzione del vento

Dall'analisi dei risultati di LAPMOD, è stato possibile creare la mappa di isoconcentrazione (Figura 10.9) relativa al 98° percentile delle concentrazioni orarie di picco, per cui ogni isolina corrisponde alla concentrazione di odore percepita per il 2% del tempo, riferito ad un anno. Tale mappa è stata poi trasferita sul software Qgis per evidenziare le linee di isoconcentrazione in relazione alla posizione delle sentinelle. L'isolina ad 1 UO/m<sup>3</sup> (Figura 10.10) si trova in prossimità delle sentinelle poste più vicine al comparto, ad indicare che c'è stata una effettiva situazione di impatto odorigeno riscontrata sia dai cittadini volontari che dall'applicazione della modellistica. Tale impatto risulta comunque limitato, sia dal punto di vista della percezione dei residenti che dai risultati della simulazione.



**Figura 10.9. Mappa di isoconcentrazione restituita da LAPMOD del 98°percentile2015**



*Figura 10.10. Mappa realizzata in Qgis del 98°percentile2015*

Per verificare ciò che è emerso dalle sentinelle, è stata creata, sempre con LAPMOD, la mappa (Figura 10.11) del 98°percentile riferita ai soli mesi di monitoraggio (Luglio 2016 - Settembre 2016). Essa è stata poi riportata su Qgis (Figura 10.12) per ottenere la posizione delle isolinee in relazione alla posizione delle sentinelle; anche in questo caso l'isolinea ad 1 UO/m<sup>3</sup> si trova in prossimità delle sentinelle poste più vicine al comparto, ad indicare che c'è stata una effettiva situazione di impatto odorigeno riscontrata sia dai cittadini volontari che dall'applicazione della modellistica. Tale impatto risulta comunque limitato, sia dal punto di vista della percezione dei residenti che dai risultati della simulazione.

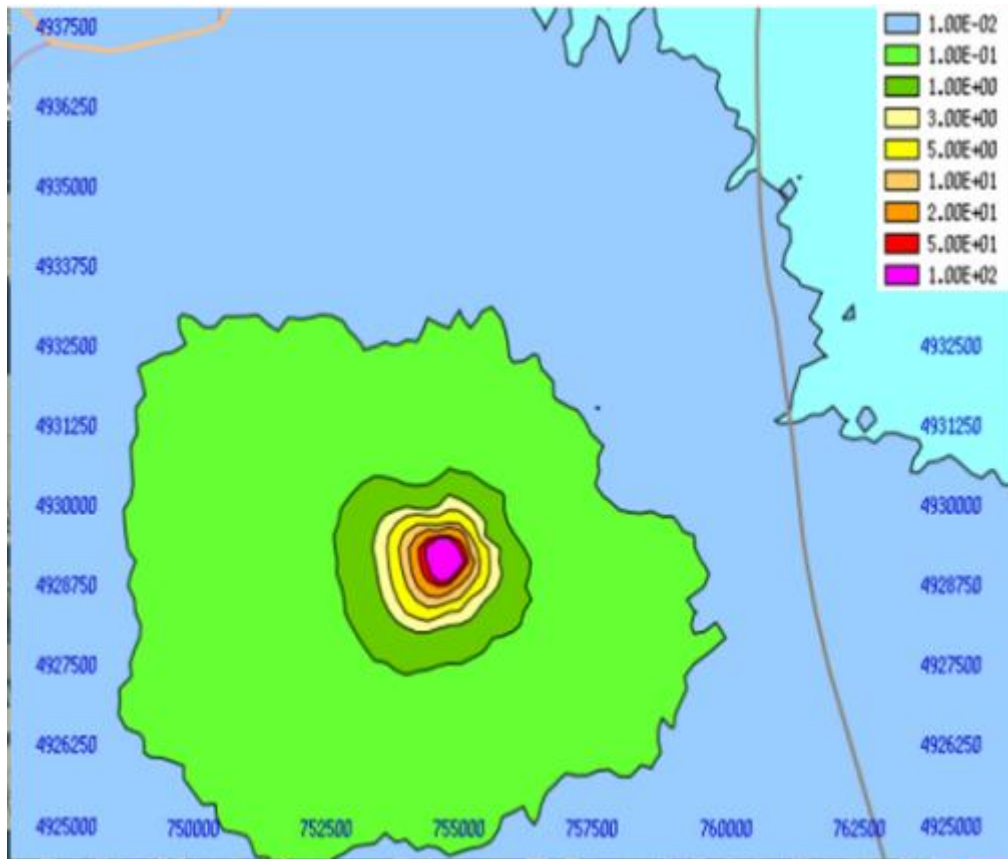


Figura 10.11. Mappa di isoconcentrazione restituita da LAPMOD del 98°percentile dei soli mesi di monitoraggio

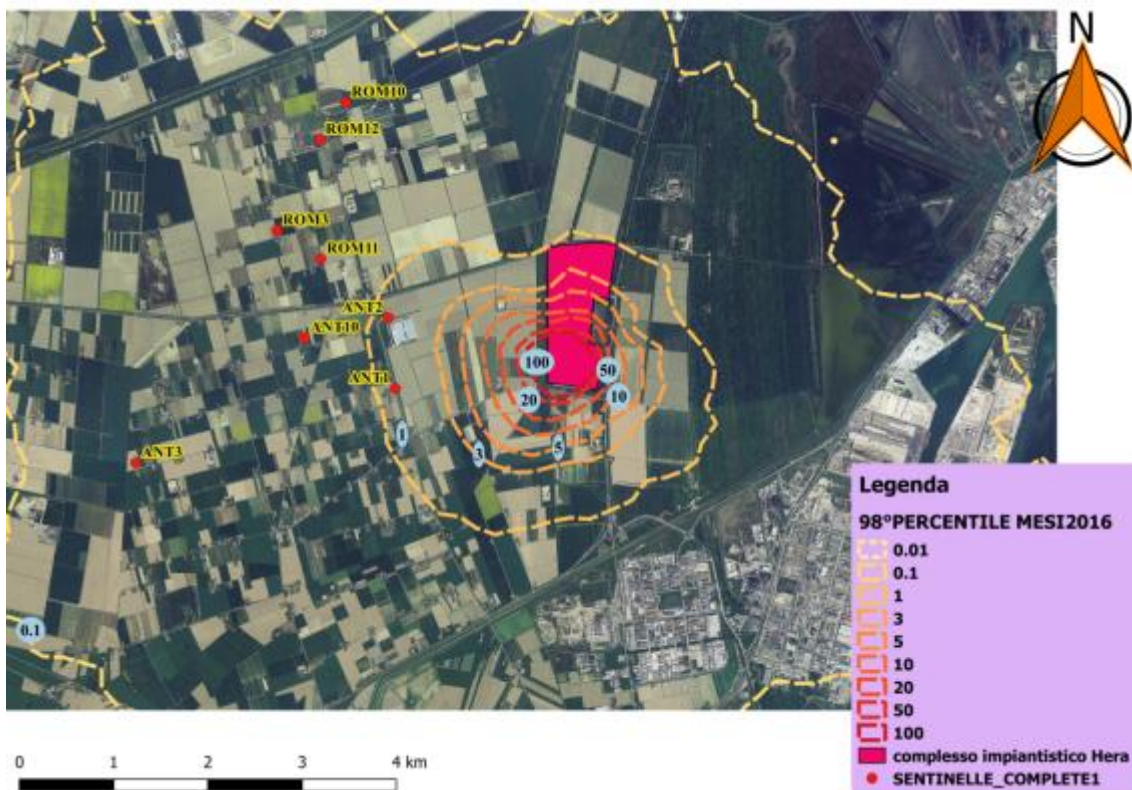


Figura 10.12. Mappa realizzata in Qgis del 98°percentile dei soli mesi di monitoraggio



## 11 CONCLUSIONI

L'indagine condotta in questo studio ha avuto come risultato più importante l'identificazione di una sorgente, fra quelle individuate e campionate, maggiormente impattante; tale risultato è stato reso possibile dall'utilizzo del naso elettronico.

Inoltre, posizionando il naso elettronico presso l'abitazione di un cittadino volontario che nello stesso periodo di monitoraggio ha compilato delle schede di segnalazione di odore, si sono potuti confrontare i dati di impatto odorigeno risultanti dall'applicazione di 3 diverse metodologie di indagine: naso elettronico, compilazione di schede di segnalazione e applicazione della modellistica per la stima della dispersione di sostanze odorogene.

Le modalità di analisi delle varie emissioni e le elaborazioni dei dati e dei risultati sono state condotte secondo quanto richiesto dalla Dgr n. IX/3018, 15 Febbraio 2012. Dalle analisi olfattometriche, dalle segnalazioni di disturbo olfattivo da parte dei residenti volontari, dai dati meteorologici, dall'utilizzo del modello lagrangiano LAPMOD e dai rilievi effettuati con il sistema olfattivo elettronico, è stato possibile formulare le seguenti considerazioni.

### Segnalazioni di disturbo olfattivo

Le normative vigenti in alcuni paesi europei (in Italia, infatti, non esistono norme nazionali specifiche che contemplino la problematica delle emissioni odorogene) prevedono generalmente che il disturbo dovuto a maleodorazioni sia da considerare non trascurabile quando incide per periodi di tempo superiori ad una determinata soglia che, a seconda della normativa estera considerata, varia tra il 2% e il 15% del tempo di indagine, in funzione anche della tipologia di area su cui si manifesta il problema (area residenziale, agricola, industriale/artigianale, ecc.). La più recente DGR Lombardia n°IX/3018 del 15/02/2012 indica che qualora il numero di episodi/mese, rilevati in un periodo di indagine di almeno 3 mesi tramite le annotazioni di cittadini volontari, superi la soglia di attenzione del 2% delle ore monitorate (pari a 15 ore/mese), il problema delle emissioni odorogene sia da ritenere non trascurabile e meritevole di valutazioni più approfondite.

Su 209 ore complessive di odore segnalate, 98 ore (corrispondenti a circa il 47% del totale) risultano perfettamente compatibili con la direzione corrispondente all'impianto; delle 40 ore di odore rilevate contemporaneamente da più cittadini, 29 ore (corrispondenti al 72.5% delle ore a segnalazione multipla) risultano perfettamente compatibili con la direzione corrispondente all'impianto. Tali periodi corrispondono all' 1,4% de tempo complessivo di indagine ed in tali momenti, presumibilmente, l'odore era ben percettibile e diffuso in un' ampia zona dell'abitato.

Considerando pertanto le possibili sottostime non quantificabili introdotte con le assunzione fatte al fine di validare le singole segnalazioni, le elaborazioni evidenziano che almeno il 47% delle singole

segnalazioni è oggettivamente compatibile con l'impianto oggetto di esame, percentuale che aumenta al 72.5% nel caso di segnalazioni multiple che, presumibilmente, indicano che l'odore era ben percettibile e diffuso in una ampia zona dell'abitato. Gli episodi/mese di odore correlabili alla fonte odorigena individuata, sull'intero periodo di indagine, non superano la soglia di tollerabilità stabilita dalla DGR Lombardia fissata al 2% del tempo (15 ore di odore/mese) anche se, in quest'ultima normativa tecnica, si suggeriscono periodi di monitoraggio di almeno 3 mesi.

Sulla base degli abbinamenti tra annotazioni di odore fatte dai cittadini e rilevazioni meteorologiche contestuali, è possibile esprimere le seguenti considerazioni conclusive.

*I rilievi meteorologici effettuati in concomitanza con gli eventi di odore segnalati consentono di affermare ragionevolmente che la collocazione dell'impianto è compatibile con la direzione di provenienza del vento nei momenti di maleodorazione (provenienza da Est).*

*Considerando le ore di odore segnalate da più persone contemporaneamente e plausibilmente ascrivibili all'impianto in esame, tale impianto non sembra rappresenta un disagio significativo, poiché le ore di percezione di odore, corrispondenti all'1,4% del tempo complessivo di indagine, sono al di sotto della soglia di attenzione prevista dalla DGR Lombardia.*

#### Rilievi con sistema olfattivo elettronico

I rilevamenti utili alle indagini hanno coperto 62 giorni. Nella maggior parte dei giorni in cui sono risultati attivi i rilevamenti del naso elettronico si rileva una qualità dell'aria associabile prevalentemente a fondi ambientali inodori (etichetta AIR), anche se spesso in queste giornate non mancano i riconoscimenti di durata non trascurabile (anche di alcune ore) associati alle sorgenti dell'impianto. Nelle altre giornate di monitoraggio, il naso elettronico assegna significative percentuali di riconoscimento e tra le emissioni particolarmente frequenti sono i riconoscimenti ascrivibili alle emissioni della vasca di decantazione fanghi. Complessivamente, sull'intero periodo di monitoraggio il naso elettronico attribuisce il 98% all' etichetta "AIR" e quindi all'aria di fondo, mentre il restante 2% viene attribuito all'etichetta designata come "Vasca", per cui questa risulta essere la sorgente maggiormente impattante tra quelle analizzate.

*Considerando l'insieme delle rilevazioni effettuate dal naso elettronico, sia nell'intero periodo di indagine, sia nelle sole ore di odore segnalate dai cittadini, è ragionevole sostenere che la sorgente maggiormente impattante è appunto la Vasca di decantazione dei fanghi.*

#### Validazione del modello LAPMOD

Come descritto, i dati rilevati dal naso elettronico sono stati confrontati con le stime del modello di dispersione. Dall'analisi condotta si è evidenziata una scarsa corrispondenza fra quanto rilevato dal naso e le stime modellistiche.

Diversamente, dal confronto fra modello e schede di annotazione dell'odore risulta sostanzialmente un buon accordo. Questa disparità può essere spiegata dal fatto che il naso elettronico è in grado di distinguere solo le sorgenti per le quali è stato addestrato. Occorre, per altro, considerare come il riconoscimento sia legato alle caratteristiche specifiche di queste sorgenti (dal punto di vista della risposta dei sensori alla miscela odorigena) nel momento del campionamento, mentre per molte sorgenti le caratteristiche di odore potrebbero non essere costanti nel tempo. Il modello, d'altra parte, simula emissioni in modo più generalista, dando in output una risposta meno specifica (non distingue fra le diverse sorgenti) ma costante nel tempo e legata alle condizioni meteorologiche che regolano i fenomeni di dispersione e alle tempistiche emissive piuttosto che alla tipologia di odore (legate alle condizioni meteo e alla gestione degli impianti).

Concludendo, il presente studio ha integrato quello condotto nel 2015, in cui sono state definite le sorgenti e i recettori più significativi. È stato, inoltre, validato il modello di simulazione LAPMOD mettendolo in relazione con altri, integrandolo con l'utilizzo del sistema olfattivo elettronico come monitoraggio in continuo. Il naso elettronico ha consentito di ottenere importanti risultati, quali l'identificazione di una sorgente specifica maggiormente impattante rispetto alle altre e la conferma che il complesso impiantistico esaminato non produce un impatto olfattivo significativo sulla base delle linee guida della Regione Lombardia.

Il naso elettronico è risultato invece poco efficace come strumento per la validazione delle stime modellistiche.

Dai rilievi meteorologici è stato possibile identificare gli abitati maggiormente impattati, che sono risultati quelli posti ad Ovest dell'impianto. Significativa è stata poi la relazione tra modello e sentinelle in base alla percentuale di riconoscimento da parte del modello, che ha confermato quali fossero le abitazioni maggiormente impattate e come il confronto fra segnalazioni e modellistica sia una metodica decisamente migliore per validare i risultati del modello.

In questo lavoro di tesi è anche emerso che il naso elettronico non raggiunge la sensibilità dell'olfatto umano.

Infine dall'analisi dei risultati di LAPMOD, è stato possibile creare la mappa di isoconcentrazione relativa al 98° percentile delle concentrazioni orarie di picco, per cui ogni isolina corrisponde alla concentrazione di odore percepita per il 2% del tempo, riferito ad un anno. Tale mappa è stata poi trasferita sul software Qgis per evidenziare le linee di isoconcentrazione in relazione alla posizione delle sentinelle. L'isolina ad  $1 \text{ UO}/\text{m}^3$  si trova in prossimità delle sentinelle poste più vicine al comparto, ad indicare che c'è stata una effettiva situazione di impatto odorigeno riscontrata sia dai cittadini volontari che dall'applicazione della modellistica. Tale impatto risulta comunque limitato, sia dal punto di vista della percezione dei residenti che dai risultati della simulazione.

## ALLEGATO A

L'OT, misurato con il "Triangle Odor Bag Method" varia con un range di 2 milioni di volte, da 0,77 ppt (Isoamyl mercaptan e) a 1500 ppm (propane) [73].

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>Diethylidissulfide</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>Aceticacid</i>	0,006	<i>Skatole</i>	0,0000056
<i>Propionicacid</i>	0,0057	<i>Ethyl-o-toluidine</i>	0,026
<i>n-Butyricacid</i>	0,00019	<i>Propane</i>	1500
<i>Isobutyricacid</i>	0,0015	<i>n-Butane</i>	1200
<i>n-Valericacid</i>	0,000037	<i>n-Pentane</i>	1,4
<i>Isovalericacid</i>	0,000078	<i>Isopentane</i>	1,3
<i>n-Hexanoicacid</i>	0,0006	<i>n-Hexane</i>	1,5
<i>Isohexanoicacid</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>Methylacrylate</i>	0,0035
<i>n-Propylbenzene</i>	0,0038	<i>Ethylacrylate</i>	0,00026
<i>Isopropylbenzene</i>	0,0084	<i>n-Butylacrylate</i>	0,00055
<i>1,2,4-Trimethylbenzen</i>	0,12	<i>Isobutylacrylate</i>	0,0009
<i>1,3,5-Trimethylbenzen</i>	0,17	<i>Methylmethacrylate</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

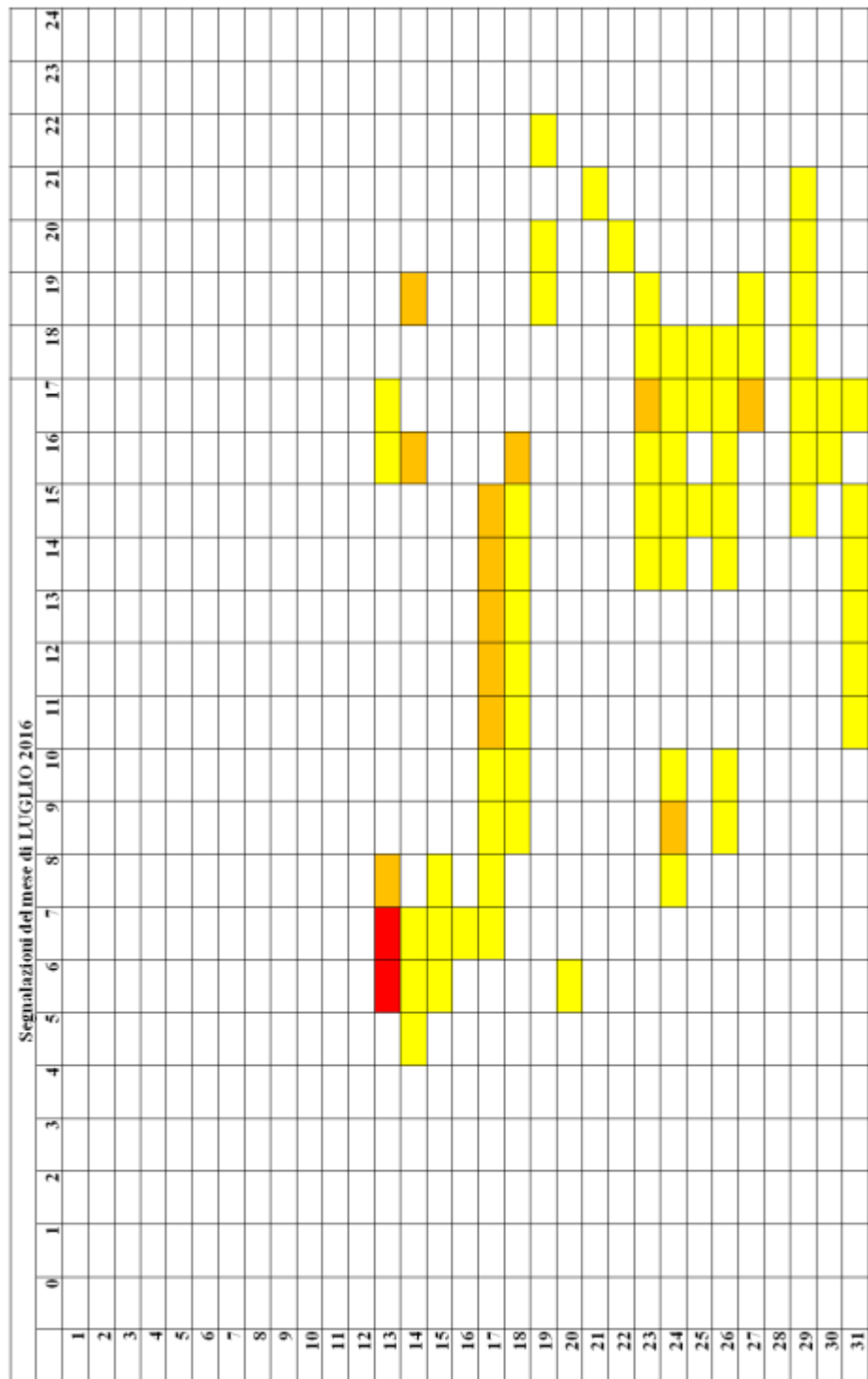
<i>Methylcyclopentane</i>	1,7	<i>Ozone</i>	0,0032
<i>Cyclohexane</i>	2,5	<i>Furane</i>	9,9
<i>Methylcyclohexane</i>	0,15	<i>2,5-Dihydrofurane</i>	0,093
<i>Methylformate</i>	130	<i>Chlorine</i>	0,049
<i>Ethylformate</i>	2,7	<i>Dichloromethane</i>	160
<i>n-Propylformate</i>	0,96	<i>Chloroform</i>	3,8
<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>Mthylacetate</i>	1,7		

# ALLEGATO B

Caratteristiche sorgenti utilizzate in input nel modello

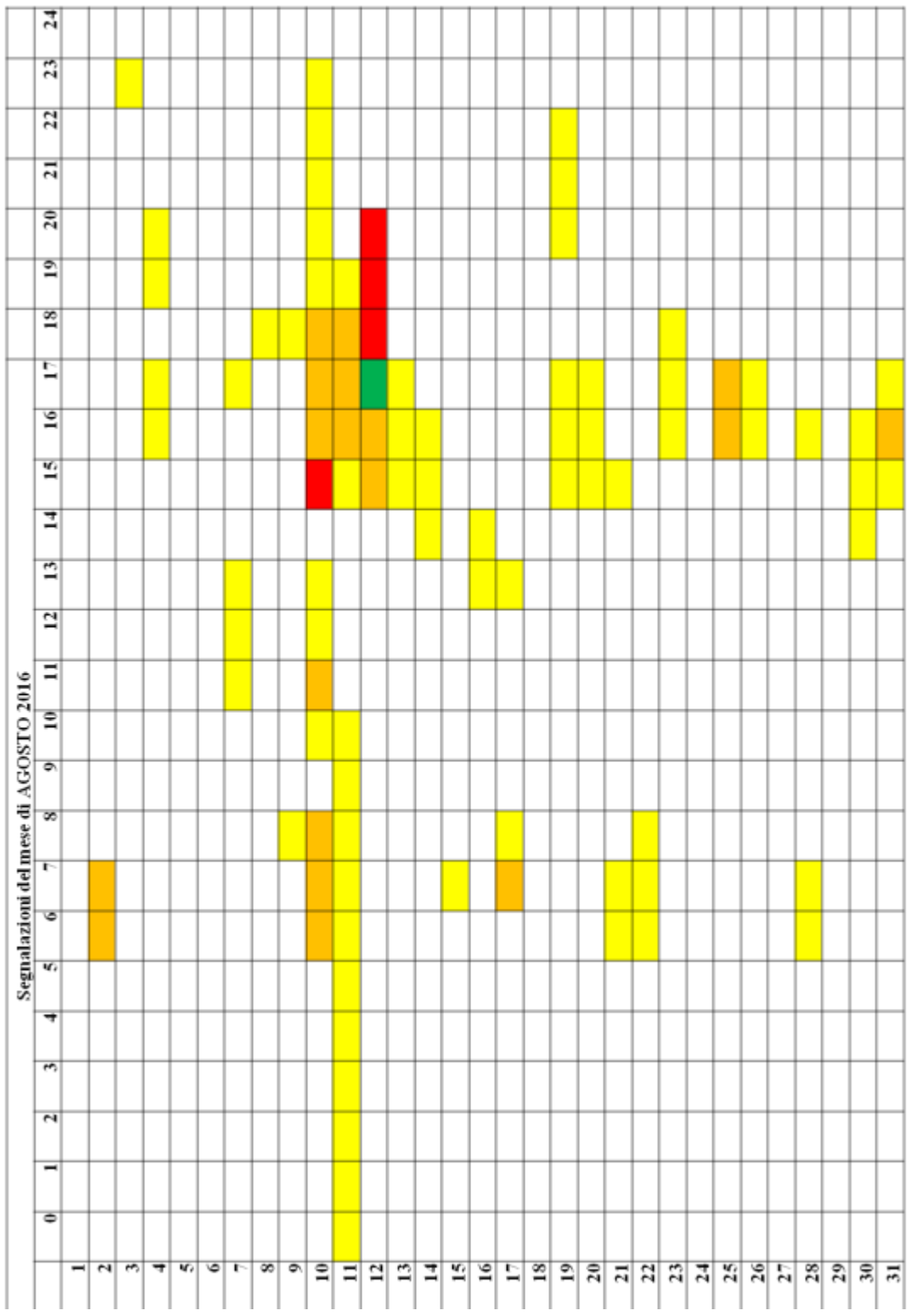
NOME	SOURCE TYPE	Z (m)	Sigma.Z (m)	UTM zone	Points								SOERUDUM01s mesi	per lipomod	CER MCOVs	area (m2) isolante	area (m2) reale
					x	y	x	y	x	y	x	y					
BROTUNNEL	Polygon source	1,9	0,1	32	755071,0	4929417,0	755074,0	4929417,0	755068,0	4929426,0	755064,0	4929426,0	0,000272	0,101329	0,004362	192	
DST_MAGAZZINO	Polygon source	0,5	4,5	32	754837	4929438	754844	4929431	754844	4929427	754837	4929426	0,00003763	0,029475	0,001054	28	27,5
DISC_COILT	Polygon source	10	0,1	32	755120	4930269	755126	4930295	755151	4930290	755156	4930296	0,00009003	0,003146	0,000135	15	1000
FANGHI_IN_TOP	Polygon source	3	0,1	32	754859,0	4929485,0	754890,0	4929485,0	754882,0	4929483,0	754861,0	4929482,0	0,00001658	0,274538	0,011822	713	630
FANGHI_IN_FRONT	Polygon source	0,5	2,5	32	754880,0	4929386,0	754890,0	4929391,0	754881,0	4929381,0	754891,0	4929386,0	0,00001658	0,000000	0,000000	0	90
FANGHI_OUT_TOP	Polygon source	3	0,1	32	754828,0	4929480,0	754869,0	4929480,0	754871,0	4929480,0	754829,0	4929459,0	0,00017572	3,774520	0,162365	924	920
FANGHI_OUT_FRONT	Polygon source	0,5	2,5	32	754829,0	4929457,0	754830,0	4929458,0	754820,0	4929454,0	754829,0	4929453,0	0,00017572	0,408988	0,021086	120	120
FANGHI_OUT_TOP_S	Polygon source	3	0,1	32	754882,0	4929382,0	754890,0	4929381,0	754882,0	4929335,0	754877,0	4929336,0	0,00017572	2,016395	0,121247	630	630
FANGHI_OUT_FRONT_S	Polygon source	0,5	2,5	32	754886,0	4929373,0	754891,0	4929372,0	754889,0	4929343,0	754896,0	4929343,0	0,00017572	0,397356	0,015815	90	90
VASCA_FANGHI	Polygon source	1,5	0,1	32	754850,0	4929337,0	754870,0	4929335,0	754864,0	4929293,0	754845,0	4929293,0	0,00001331	0,246720	0,010621	798	800
IRE_TOP	Polygon source	2,7	0,1	32	755110,0	4929382,0	755151,0	4929370,0	755150,0	4929366,0	755145,0	4929370,0	5,16666667E-407	0,095041	0,000217	420	417
IRE_FRONT	Polygon source	0,5	2,2	32	755135,0	4929385,0	755145,0	4929384,0	755144,0	4929377,0	755134,0	4929379,0	5,16666667E-407	0,000720	0,000031	60	63

## ALLEGATO C\*



\*Segnalazioni Estate 2016 (giallo = 1 segnalante; arancio = 2 segnalanti; rosso = 3 segnalanti; verde = 3 o più)





Segnalazioni del mese di SETTEMBRE 2016

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1																										
2																										
3																										
4																										
5																										
6																										
7																										
8																										
9																										
10																										
11																										
12																										
13																										
14																										
15																										
16																										
17																										
18																										
19																										
20																										
21																										
22																										
23																										
24																										
25																										
26																										
27																										
28																										
29																										
30																										

## ALLEGATO D

Media, Max e Percentile delle concentrazioni restituite dal modello al recettore

	ANT1	ANT2	ANT3	ROM12	MANDI	ALB10	ROM10	ROM11	ANT10	ALB11	ROM3	ALB1
MEDIA	0.09	0.14	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.06	0.06	0.06	0.04	0.00
MAX	2.53	4.35	0.70	1.73	0.23	0.27	1.15	2.20	1.45	0.23	1.72	0.40
PERCENTILE	0.87	1.24	0.17	0.22	0.02	0.03	0.17	0.51	0.57	0.03	0.34	0.02

## 12 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] A. N. Rossi, “I lavori europei di revisione della norma sull ’ olfattometria dinamica,” pp. 1–16, 2012.
- [2] A. N. Rossi, “Normativa sulle emissioni odorigene : stato dell ’ arte , evoluzione ed aspetti giuridici Codice civile e penale italiani Regolamenti e legislazione,” 2012.
- [3] J. Melorose, R. Perroy, and S. Careas, “No Title No Title,” *Statew. Agric. L. Use Baseline 2015*, vol. 1, 2015.
- [4] C. I. L. Futuro, “Odori emessi dagli allevamenti suinicoli : come prevederne l ’ intensità a diverse distanze Quaderni della ricerca,” 2007.
- [5] V. Esposito *et al.*, “Levels, spatial diffusion and temporal evolution of Persistent Organic Pollutants in the ambient air of Taranto,” vol. 76, pp. 1141–1143, 2012.
- [6] APAT (Agenzia per la protezione dell’ambiente), *Metodi di misura delle emissioni olfattive. Quadro normativo e campagne di misura.* 2003.
- [7] A. Mater, S. Università, D. I. Bologna, S. D. I. Scienze, and A. C. Fisica, “DISPERSIONE DI SOSTANZE ODORIGENE NELL ’ ATMOSFERA E MODELLIZZAZIONE MEDIANTE SOFTWARE DEDICATO ( un ’ applicazione del software LAPMOD ),” 2015.
- [8] F.-B. Frechen and W. Köster, “Odour emission capacity of wastewaters - standardization of measurement method and application,” *Water Sci. Technol.*, vol. 38, no. 3, pp. 61–69, Aug. 1998.
- [9] T. Zarra, V. Naddeo, V. Belgiorno, M. Reiser, and M. Kranert, “Odour monitoring of small wastewater treatment plant located in sensitive environment,” *Water Sci. Technol.*, vol. 58, no. 1, pp. 89–94, Jul. 2008.
- [10] Norma Italiana, *UNI EN 13725.* 2003.
- [11] J. C. Leffingwell, “Chirality & bioactivity I.: pharmacology,” *Leffingwell Reports*, vol. 3, no. 1, pp. 1–27, 2003.
- [12] C. L. Giuliani S., Belgiorno V., Zarra T., “Strumentazione multisensore selettiva per il monitoraggio in continuo degli odori nel settore ambientale,” 2011.
- [13] Nicell, P. Baltrenas, L. Andrulevičius, and E. Zuokaite, “Assessment and regulation of odour impacts,” *Polish J. Environ. Stud.*, vol. 22, no. 2, pp. 331–336, 2013.
- [14] Y. Chen, D. S. Bundy, and S. J. Hoff, “Development of the Relationship between Odor Intensity and Threshold Dilution Ratio for Swine Units,” *J. Air Waste Manage. Assoc.*, vol. 49, no. 9, pp. 1082–1088, 1999.
- [15] P. J. Bliss, K. Jiang, and T. J. Schulz, “The Development of a Sampling System for the Determination of Odor Emission Rates from Areal Surfaces: Part II. Mathematical Model,”

- J. Air Waste Manage. Assoc.*, vol. 45, no. 12, pp. 989–994, 1995.
- [16] (2007). Ziemacki G., Settimo G., “IN ITALIA ED IN EUROPA : un percorso integrato relativo ai vari settori produttivi e di servizio nei diversi comparti ambientali Taglio del nastro alla presenza del Ministro dell ’ Ambiente e della Tutela del Territorio , On . le Alfonso Pecoraro Scanio ,” pp. 2–63, 2007.
- [17] A. M. Lisovac and D. Shooter, “Volatiles from sheep wool and the modification of wool odour,” *Small Rumin. Res.*, vol. 49, no. 2, pp. 115–124, 2003.
- [18] P. M. Wise, M. J. Olsson, and W. S. Cain, “Quantification of odor quality.,” *Chem. Senses*, vol. 25, no. 4, pp. 429–443, 2000.
- [19] E. FUOCO, “Sviluppo di una metodologia integrata per la valutazione della molestia olfattiva. Applicazione al caso della discarica di Legoli, Comune di Peccioli (PI).,” 2005.
- [20] D. Bertoni, P. Mazzali, and A. Vignali, *Analisi e controllo degli odori*. Pitagora, 1993.
- [21] S. Agostinelli, “Inquinamento odorigeno,” *Reg. e Ambient.*, vol. 6, pp. 29–31, 2005.
- [22] R. Azzeri, “La Rimozione Biologica degli Inquinanti Gassosi,” *Biol. Ambient.*, no. 6, 2004.
- [23] European Commission, “JRC Reference Report on Monitoring of emissions from IED-installations,” 2013.
- [24] G. Goaa, “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 ( second version , supplemented,” 2008.
- [25] A. Pivetta, “Naso Elettronico: funzionamento, applicazioni, problemi aperti,” 2012.
- [26] C. Regionale, “Bollettino ufficiale Regione Lombardia,” pp. 1–272, 2013.
- [27] R. Lombardia, “emissioni olfattive, le linee guida della lombardia,” 2012.
- [28] P. Le, N. T. Unico, G. Provinciale, and S. Autorizzazioni, “Linee guida per la caratterizzazione , l ’ analisi e la definizione dei criteri tecnici e gestionali per la mitigazione delle emissioni delle attività ad impatto odorigeno,” 2015.
- [29] Apat, “La micrometeorologia e la dispersione degli inquinanti in aria,” 2003.
- [30] J. R. Garratt, “Review: the atmospheric boundary layer,” *Earth-Science Rev.*, vol. 37, no. 1, pp. 89–134, 1994.
- [31] F. D. Atmosfera, D. Dott, and S. Davolio, “Fisica dell’atmosfera,” pp. 1–30.
- [32] F. Pasquill, “Atmospheric Dispersion Modeling,” *J. Air Pollut. Control Assoc.*, vol. 29, no. 2, pp. 117–119, Feb. 1979.
- [33] R. B. Stull, *An introduction to boundary layer meteorology*, vol. 13. Springer Science & Business Media, 2012.

- [34] E. Angelino, M. Deserti, F. Lollobrigida, and I. I. I. Sessione–le attività del CTN\_ ACE, “L’esercizio di verifica di modelli chimici di trasporto e diffusione.”
- [35] “www.territorio.provincia.tn.it.” [Online]. Available: [www.territorio.provincia.tn.it](http://www.territorio.provincia.tn.it). [Accessed: 06-Sep-2016].
- [36] G. Finzi and G. Brusasca, *La qualità dell’aria: modelli previsionali e gestionali*. Masson, 1991.
- [37] S. S. Capelli L., “Studio previsionale di impatto mediante simulazione della dispersione atmosferica. Impianto di digestione anaerobica e compostaggio di FORSU e verde. Milano,,” 2010.
- [38] T. Freeman and R. Cudmore, “Review of odour management in New Zealand,” *New Zeal. Minist. Environ. Air Qual. Tech. Rep.*, vol. 24, 2002.
- [39] Enviroware, “www.enviroware.it.” [Online]. Available: [www.enviroware.it](http://www.enviroware.it). [Accessed: 06-Sep-2016].
- [40] J. S. Scire, F. R. Robe, M. E. Fernau, and R. J. Yamartino, “A user ’s guide for the CALMET meteorological model (Version 5),” no. January, pp. 1–332, 2000.
- [41] L. Versione, “LAPMOD – Manuale d ’ uso Modello Lagrangiano a particelle per la dispersione di inquinanti in atmosfera.”
- [42] R. D. Reddy and D. H. Smith, “Why Do People Participate in Voluntary Action?.,” *J. Ext.*, 1973.
- [43] K. R. Mylne and P. J. Mason, “Concentration fluctuation measurements in a dispersing plume at a range of up to 1000 m,” *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 117, no. 497, pp. 177–206, 1991.
- [44] R. Bellasio and R. Bianconi, “Il sistema modellistico LAPMOD per la simulazione dell’inquinamento atmosferico in orografia complessa,” *Ing. Ambient.*, vol. 61, no. 6, pp. 492–500, 2012.
- [45] M. L. N. Leo, *Handbook of water analysis*. Marcel Dekker, 2000.
- [46] T. Freeman, C. Needham, and T. Schulz, “Analysis of options for odour evaluation for industrial or trade processes,” *Auckl. Reg. Counc. CH2M BECA Ltd., Auckland, New Zeal.*, 2000.
- [47] C. P., “Metodi di misura degli odori. Determinazione degli odori mediante metodi chimici,” 2000. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11311/560791>.
- [48] R. V., “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,” 2012,

vol. 2012, pp. 1–69.

- [49] De Gennaro, ““APPLICAZIONE DI MODELLI A DISPERSIONE PER LA VALUTAZIONE DELL’IMPATTO ODORIGENO DI UN IMPIANTO INDUSTRIALE,”” 2010. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/2142/33105>.
- [50] J. C. Walker, “The performance of the human nose in odour measurement,” *Water Sci. Technol.*, vol. 44, no. 9, pp. 1–7, 2001.
- [51] J. V Leland, P. Schieberle, A. Buettner, and T. E. Acree, *Gas chromatography-olfactometry: the state of the art*. ACS Publications, 2001.
- [52] I. Enzo *et al.*, “LE EMISSIONI ODORIGENE IMPATTANTI NELL ’ AREA URBANA DI CASTELNUOVO RANGONE ( MO ),” 2012.
- [53] J. W. Gardner and P. N. Bartlett, “A brief history of electronic noses,” *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 18, no. 1, pp. 210–211, 1994.
- [54] J. W. Gardner and P. N. Bartlett, *Sensors and sensory systems for an electronic nose*. Springer, 1992.
- [55] M. S. Freund and N. S. Lewis, “A chemically diverse conducting polymer-based ‘ electronic nose’ .,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 92, no. 7, pp. 2652–2656, 1995.
- [56] A. D. Wilson, D. G. Lester, and C. S. Oberle, “Development of conductive polymer analysis for the rapid detection and identification of phytopathogenic microbes,” *Phytopathology*, vol. 94, no. 5, pp. 419–431, 2004.
- [57] K. Ihokura and J. Watson, *The Stannic Oxide Gas Sensor Principles and Applications*. CRC press, 1994.
- [58] E. Schaller, J. O. Bosset, and F. Escher, ““Electronic noses’ and their application to food,”” *LWT-Food Sci. Technol.*, vol. 31, no. 4, pp. 305–316, 1998.
- [59] T. C. Pearce, “Odor to sensor space transformations in biological and artificial noses,” *Neurocomputing*, vol. 32, pp. 941–952, 2000.
- [60] P. K. Clifford and D. T. Tuma, “Characteristics of semiconductor gas sensors II. Transient response to temperature change,” *Sensors and Actuators*, vol. 3, pp. 255–281, 1982.
- [61] T. Kammerer, A. Gramm, and A. Schütze, “Low power virtual sensor array based on a micromachined gas sensor for fast discrimination between H<sub>2</sub>, CO and relative humidity,” *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 100, no. 1, pp. 240–245, 2004.
- [62] H. Bai, C. Li, F. Chen, and G. Shi, “Aligned three-dimensional microstructures of conducting polymer composites,” *Polymer (Guildf)*, vol. 48, no. 18, pp. 5259–5267, 2007.
- [63] T. A. G. E. Cosimino M., “Univeristà del Salento Elettrosintesi di polimeri conduttori micro/nanostrutturati.”

- [64] R. Stuetz and F.-B. Frechen, *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control*. IWA publishing, 2001.
- [65] D. Hodgins, “The electronic nose: sensor array-based instruments that emulate the human nose,” *FOOD Sci. Technol. YORK-MARCEL DEKKER-*, pp. 331–371, 1997.
- [66] G. Hudon, C. Guy, and J. Hermia, “Measurement of odor intensity by an electronic nose,” *J. Air Waste Manage. Assoc.*, vol. 50, no. 10, pp. 1750–1758, 2000.
- [67] T. R. Veneto, “www.rainews.it.” [Online]. Available: <http://www.rainews.it/dl/rainews/TGR/media/Veneto-naso-elettronico-contro-i-tappi-inaffidabili-05064fd6-2c13-4ca2-905e-35afc54a7286.html>. [Accessed: 06-Sep-2016].
- [68] A.-C. Romain and J. Nicolas, “Long term stability of metal oxide-based gas sensors for e-nose environmental applications: An overview,” *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 146, no. 2, pp. 502–506, 2010.
- [69] J.-E. Haugen, O. Tomic, and K. Kvaal, “A calibration method for handling the temporal drift of solid state gas-sensors,” *Anal. Chim. Acta*, vol. 407, no. 1, pp. 23–39, 2000.
- [70] S. S. Ambientali, “Rapporto sulla qualità dell’ aria della Provincia di Ravenna,” 2016.
- [71] S. S. Romea and R. Ra, “DICHIARAZIONE AMBIENTALE ANNO 2016 COMPLESSO IMPIANTISTICO di,” pp. 0–119, 2016.
- [72] R. Bianconi, S. Mosca, and G. Graziani, *PDM: A Lagrangian particle model for atmospheric dispersion*. European Commission, 1999.
- [73] Y. Nagata, “Measurement of Odor Threshold by Triangle Odor Bag Method,” *Odor Meas. Rev.*, pp. 118–127, 2003.



## **RINGRAZIAMENTI**

Ringrazio i professori Alberto Modelli e Massimo Andretta per la grande disponibilità e cortesia dimostratemi durante la stesura.

Ringrazio la Dott.ssa Patrizia Luciali e tutti i tecnici del Servizio Sistemi Ambientali di Arpae di Ravenna che sono sempre stati disponibili, in particolar modo la Dott.ssa Elisa Pollini che mi ha seguito nell'utilizzo del software. Inoltre, vorrei ringraziare vivamente i colleghi della sezione Arpae di Modena, Marco Pisa ed Alessio Del Carlo, per la loro disponibilità e gentilezza, dedicandomi del tempo nello studio condotto in questo lavoro di tesi.

Infine ringrazio i dirigenti ed il personale HERA che mi hanno consentito di visitare e analizzare l'impianto.

Desidero ringraziare i miei Genitori che mi hanno sempre sostenuto nelle mie scelte aiutandomi a raggiungere questo vero traguardo.

Grazie a voi compagni, colleghi ed amici di questo percorso universitario vissuto intensamente in vostra compagnia ed allegria.