

# EMISSIONI ODORIGENE: ELEMENTI DI RIFERIMENTO E APPROCCI METODOLOGICI PER IL MONITORAGGIO

Delibera del Consiglio SNPA n.268/25 del 23.01.2025



# EMISSIONI ODORIGENE: ELEMENTI DI RIFERIMENTO E APPROCCI METODOLOGICI PER IL MONITORAGGIO

Delibera del Consiglio SNPA n.268/25 del 23.01.2025

---

PUBBLICAZIONI TECNICHE SNPA | 2025

ISBN 978-88-448-1248-5 | Roma, marzo 2025

Il Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) è operativo dal 14 gennaio 2017, data di entrata in vigore della legge 28 giugno 2016, n. 132 di "Istituzione del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente e disciplina dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale" (ISPRA).

Il SNPA è composto dall'ISPRA, ente pubblico nazionale di ricerca che ne coordina le attività, e dalle agenzie per la protezione dell'ambiente delle Regioni e delle Province autonome di Trento e Bolzano.

Attraverso la cooperazione a rete, il Sistema lavora per raggiungere prestazioni tecniche ambientali uniformi sull'intero territorio nazionale, a vantaggio della tutela dell'ambiente e a beneficio della popolazione, dell'attività delle imprese e del sistema pubblico in generale. Le prestazioni tecniche riguardano le attività ispettive e di controllo ambientale, il monitoraggio dello stato dell'ambiente, il controllo delle fonti e dei fattori di inquinamento, il supporto alle attività in campo ambientale dello Stato, delle Regioni e degli enti locali, la ricerca finalizzata a tali scopi nonché la raccolta, l'organizzazione e diffusione dei dati e delle informazioni ambientali che sono riferimenti ufficiali dell'attività di tutta la pubblica amministrazione.

Il Sistema produce documenti tecnici quali Report ambientali SNPA, Linee guida SNPA, Pubblicazioni tecniche SNPA e pareri vincolanti in base alla legge. Organo deliberativo del Sistema è, ai sensi dell'art. 13 della legge n. 132/2016, il Consiglio del Sistema Nazionale, presieduto dal Presidente dell'ISPRA e composto dai rappresentanti legali delle agenzie e dal Direttore generale dell'Istituto.

Le persone che agiscono per conto delle componenti del Sistema non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in queste pubblicazioni.

Citare questo documento come segue:

SNPA, Emissioni odorigene: elementi di riferimento e approcci metodologici per il monitoraggio, Pubblicazioni tecniche SNPA, 2025

ISBN 978-88-448-1248-5

© Pubblicazioni tecniche SNPA 2025

La collana Pubblicazioni tecniche SNPA raccoglie elaborazioni prodotte dal Sistema e derivanti dalle attività di approfondimento scientifico e tecnico, anche progettuale, che accrescono la conoscenza su una tematica e sono propedeutiche alla

eventuale produzione di Report ambientali SNPA o di Linee guida SNPA.

Riproduzione autorizzata citando la fonte.

Coordinamento della pubblicazione online:

Daria Mazzella - ISPRA

Copertina:

Elena Porrazzo - Ufficio Grafica ISPRA

Marzo 2025

Abstract

Il Documento Tecnico costituisce una revisione del documento "Metodologie per la valutazione delle emissioni odorigene", approvato con Delibera n.38/2018 dal Consiglio SNPA. Nello specifico, scopo del documento è fornire, in modo organico, agli Enti di Controllo informazioni utili per la scelta degli approcci adeguati ad effettuare un'azione di prevenzione, controllo e valutazione delle emissioni odorigene. Le innovazioni metodologiche e tecnologiche relative al monitoraggio e al controllo degli odori nonché gli aggiornamenti in merito alla normazione tecnica di settore e alla legislazione nazionale e regionale, occorsi negli ultimi anni, hanno introdotto numerosi elementi di novità nel settore. Tali elementi sono stati integrati nelle diverse sezioni del documento con particolare riferimento agli aspetti tecnici e normativi.

The Technical Document is a revision of "Methodologies for the assessment of odour emissions", approved by SNPA Council as Resolution n.38/2018. Specifically, the purpose of the document is to provide, as an organic review, useful information to choose suitable approaches to carry out an action of prevention, control and assessment of odour emissions to Control Authorities. Methodological and technological innovations relating to the odour monitoring and control as well as the updates of technical standards and national and regional legislation, occurred in recent years, have introduced new elements in the sector. These elements have been integrated into the different sections of the document with particular reference to the technical and regulatory aspects.

Parole chiave: emissione odorigena, normativa, molestia olfattiva, monitoraggio, modellistica di dispersione atmosferica.

Keywords: odour emission, regulation, odour nuisance, monitoring, atmospheric dispersion model.

### Redattori/Autori

Magda Brattoli (ARPA Puglia)  
Lucia Muto (ISPRA)  
Giovanni Del Monaco (ARPA Campania)  
Laura Bennati (ARPA Lazio)  
Ugo Pretto (ARPA Veneto)  
Alessio Del Carlo (ARPAE Emilia-Romagna)  
Fabio Colonna (ARPA Lombardia)  
Claudia Desandrè (ARPA Valle d'Aosta)  
Gabriele Tonidandel (ARPA Trento)  
Alessandra Pillon (ARPA Friuli-Venezia Giulia)  
Claudia Tuoto (ARPA Calabria)  
Giuseppe Anzilotta (ARPA Basilicata)  
Carla Cimatori (ARPA Abruzzo)  
Lucia Bisio (ARPA Liguria)  
Miriam Sileno (ARPA Marche)  
Stefano Ferraris (ARPA Piemonte)  
Teresa Ariu (ARPA Sardegna)  
Anna Abita (ARPA Sicilia)  
Valeria Tricarico (ARPA Toscana)  
Gianluca Cotogni (ARPA Umbria)

### Percorso istruttorio

Documento elaborato nell'ambito dell'articolazione istruttoria del Consiglio SNPA:  
Rete Tematica RRTEM05 - *Odori*  
Documento condiviso con:  
RRTEM 03 - Qualità dell'aria  
RRTEM 06 - Emissioni in atmosfera  
RRTEM 07 - Autorizzazioni ambientali AIA, AUA, RIR (attività istruttorie e controlli)  
RRTEM 08 - Valutazioni ambientali, verifiche e monitoraggio e controllo grandi opere  
RRTEM 16 - Laboratori SNPA  
Coordinamento Tecnico Operativo (CTO)  
Documento adottato dal Consiglio SNPA, con Delibera del Consiglio SNPA n. 268/2025 del 23/01/2025

### Ringraziamenti

Si ringraziano per la collaborazione ed il prezioso contributo alla redazione del documento i colleghi delle Agenzie Regionali:  
Massimo Bressan, Barbara Intini e Alberto Dalla Fontana (ARPA Veneto)  
Francesca Novelli (ARPAE Emilia-Romagna)  
Francesco Montanari (ARPA Friuli-Venezia Giulia)  
Rosalba Odoguardi (ARPA Calabria)  
Irene Davi (ARPA Piemonte)  
Alessandra Tamburini (ARPA Liguria)  
Antonio Mazzone (ARPA Puglia)  
Maddalena Ripa (ISPRA)  
Si ringraziano inoltre Barbara Bellomo, Patrizia D'Alessandro ed Elisa Raso (ISPRA) per il supporto fornito.

# SOMMARIO

PREMESSA.....	7
SINTESI.....	8
1. L'ODORE E LA SUA PERCEZIONE .....	9
1.1. CENNI SUL MECCANISMO FISIOLÓGICO DI PERCEZIONE DELL'ODORE .....	9
1.2. PROPRIETÀ CARATTERISTICHE DELL'ODORE .....	10
2. I PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI IN MATERIA DI ODORI.....	17
2.1. ELEMENTI DELLA NORMATIVA AMBIENTALE NAZIONALE .....	17
2.2. ELEMENTI DELLA NORMATIVA AMBIENTALE REGIONALE E LOCALE.....	18
2.3 TUTELA NORMATIVA INDIRECTA.....	23
3. ANALISI DELLE METODOLOGIE DI MONITORAGGIO E CONTROLLO DELLE EMISSIONI ODORIGENE .....	25
3.1. PRELIEVO E GESTIONE DEI CAMPIONI GASSOSI ODORIGENI.....	26
3.1.1. Metodologie e supporti di campionamento .....	28
3.1.2. Il campionamento olfattometrico: sorgenti odorigene e campionamenti ambientali .....	29
3.2 MONITORAGGIO CHIMICO .....	34
3.2.1 Tecniche di campionamento ed analisi.....	35
3.2.2 Analisi mediante Gascromatografia/Spettrometria di massa (GC/MS).....	35
3.2.3 Analisi mediante Gascromatografia/Olfattometria (GC/O).....	36
3.2.4 Uso di altre tecniche analitiche.....	38
3.3 OLFATTOMETRIA DINAMICA.....	38
3.3.1 Analisi olfattometrica.....	39
3.4 SISTEMI AUTOMATICI PER LA MISURAZIONE DELL'ODORE (IOMS) .....	42
3.4.1 Riferimenti Normativi .....	42
3.4.2 Principi di funzionamento e requisiti strumentali .....	42
3.4.3. Addestramento e Validazione .....	43
3.4.4 Applicazioni degli IOMS in ambito ambientale.....	43
3.5 MONITORAGGIO DELLA PERCEZIONE DELL'ODORE.....	45
3.5.1 Modalità di recepimento delle segnalazioni della popolazione residente tramite sistemi <i>web-based</i> .....	46
3.5.2 Raccolta sistematica delle segnalazioni della popolazione residente.....	46
3.5.3 Monitoraggio in campo mediante panel addestrato .....	47
3.5.3.1 Metodo a griglia .....	48
3.5.3.2 Metodo del pennacchio.....	48
4. MODELLI DI DISPERSIONE PER LA VALUTAZIONE DI IMPATTO OLFATTIVO .....	50
4.1 INTRODUZIONE .....	50
4.2 I MODELLI DI DISPERSIONE ATMOSFERICA.....	50
4.3 LE CARATTERISTICHE TECNICHE SPECIFICHE DEI MODELLI DI DISPERSIONE ODORIGENA.....	51
4.4 IL RUOLO DEI MODELLI DI DISPERSIONE NELLE VALUTAZIONI DI IMPATTO ODORIGENO .....	52

4.5 LE CARATTERISTICHE TECNICHE ED IL RUOLO DEI MODELLI DI DISPERSIONE ODORIGENA NEGLI “INDIRIZZI NAZIONALI” .....	53
5. APPROCCI INTEGRATI PER LA VALUTAZIONE DELLA MOLESTIA OLFATTIVA.....	56
5.1 STRUMENTI DI VALUTAZIONE.....	56
6. METODOLOGIE DI ABBATTIMENTO DEGLI ODORI.....	59
6.1 METODI DI CONTROLLO DEGLI ODORI ALLA SORGENTE.....	59
6.1.1 Captazione ed estrazione .....	59
6.1.2 Adsorbimento .....	60
6.1.3 Scrubbing umido.....	61
6.1.4 Sistemi biologici di abbattimento .....	62
6.1.4.1 Biofiltrazione .....	62
6.1.4.2 Biotrickling .....	63
6.1.4.3 Bioscrubber.....	64
6.1.5 Ozono e ultravioletti (UV).....	66
6.1.6 Ossidazione termica .....	66
6.1.7 Ossidazione catalitica.....	67
6.1.8 Neutralizzazione degli odori.....	67
6.2 INTERVENTI DI CONTROLLO E MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI ODORIGENE PER SPECIFICHE TIPOLOGIE DI IMPIANTI.....	67
6.2.1 Impianti di trattamento delle acque reflue .....	68
6.2.2 Allevamenti intensivi.....	71
6.2.3 Industria della Raffinazione del petrolio .....	73
6.2.4 Impianti di trattamento rifiuti.....	74
6.2.5 Impianti di discarica.....	75
BIBLIOGRAFIA GENERALE.....	76

## PREMESSA

Il tema del monitoraggio, controllo e valutazione dell'impatto olfattivo prodotto da numerose realtà industriali è oggetto di sempre maggior attenzione per la Pubblica Amministrazione, per gli Enti preposti al rilascio delle autorizzazioni ambientali e, di conseguenza, per gli Enti di controllo in relazione alle sempre più numerose segnalazioni e richieste di intervento da parte della popolazione esposta che rivendica una migliore qualità della vita.

L'odore è, quindi, considerato a tutti gli effetti un parametro ambientale oggetto di misurazione, rispetto al quale sono stati definiti, nel tempo, approcci metodologici in grado di fornire una compiuta comprensione dei fenomeni ad esso correlati.

La stretta relazione tra odori e soggettività della percezione umana, insieme al riconoscimento che le emissioni odorigene sono caratterizzate da elevata variabilità sia in riferimento alla tipologia delle sorgenti che la generano sia alla distribuzione temporale e spaziale dell'emissione rendono maggiormente complesso il loro studio rispetto a quanto convenzionalmente operato per la qualità dell'aria.

Per le stesse ragioni, il quadro di riferimento normativo si è sviluppato in maniera eterogenea sul territorio nazionale; lo stesso ha subito una profonda evoluzione da una prima fase, in cui l'approccio è stato prevalentemente volto alla determinazione di valori limite di emissione alle sorgenti, all'adozione, più recentemente, di criteri di accettabilità definiti presso i recettori.

In tal senso, la pubblicazione del Decreto Direttoriale n. 309 del 28/06/2023 del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, recante l'approvazione del documento "Indirizzi per l'applicazione dell'articolo 272-bis in materia di emissioni odorigene di impianti e attività" realizzato, in attuazione del comma 2 dell'articolo 272-bis del D.Lgs. n.152/06 e ss.mm.ii., dal gruppo di lavoro istituito nell'ambito del Coordinamento emissioni (di cui all'articolo 281, comma 9, D.Lgs.152/2006) (<https://www.mase.gov.it/pagina/indirizzi-applicazione-dellarticolo-272-bis-del-dlgs-1522006-materia-di-emissioni-odorigene>) (MASE 2023), ha introdotto criteri condivisi, a livello nazionale, circa gli aspetti riguardanti l'ambito tecnico/amministrativo dei processi istruttori e decisionali, nonché aspetti più strettamente metodologici, trattati nel testo dei cinque Allegati Tecnici.

Nella definizione dell'approccio metodologico più opportuno per lo studio dei fenomeni odorigeni appare necessario prediligere una combinazione di diversi strumenti di valutazione che possano fornire informazioni complementari.

In tal senso, nell'ambito della valutazione quantitativa della miscela odorigena non è identificabile un unico metodo esaustivo ma, in considerazione dello scopo di indagine, sono impiegati metodi di caratterizzazione chimica dei suoi componenti, la determinazione sensoriale della concentrazione dell'odore (olfattometria dinamica) e approcci strumentali di monitoraggio in continuo mediante sensoristica.

Invece, nella valutazione dell'impatto odorigeno e dello studio delle ricadute sui recettori, lo strumento di supporto fondamentale è rappresentato dalla modellistica della dispersione atmosferica che sta rivestendo, negli ultimi anni, un ruolo fondamentale anche nell'ambito dei procedimenti di autorizzazione delle installazioni a potenziale rischio odorigeno. L'affidabilità dei risultati di tale strumento ha posto la necessità di individuare requisiti tecnici minimi di impostazione metodologica per la valutazione delle variabili descrittive di input, definite in documenti tecnici di riferimento e negli stessi provvedimenti normativi.

Il presente documento è finalizzato ad esaminare, in modo organico e con riferimento al più recente stato dell'arte, i differenti aspetti legati alla problematica delle emissioni odorigene con lo scopo di fornire informazioni utili per la scelta degli approcci adeguati ad effettuare un'azione di prevenzione, controllo e valutazione delle emissioni odorigene.

## SINTESI

Il presente Documento Tecnico nasce dall'esigenza del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente di disporre di un quadro di riferimento organico, data l'eterogeneità delle esperienze in campo e delle metodologie di approccio utilizzate, in considerazione delle dotazioni tecnico - strumentali disponibili per ciascuna Agenzia e della specificità delle attività produttive del territorio.

Lo stesso costituisce una revisione del documento "Metodologie per la valutazione delle emissioni odorigene", approvato con Delibera n.38/2018 dal Consiglio SNPA.

La pubblicazione del Decreto Direttoriale n. 309 del 28/06/2023 del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, recante l'approvazione del documento "Indirizzi per l'applicazione dell'articolo 272-bis in materia di emissioni odorigene di impianti e attività" (MASE 2023), nonché le innovazioni metodologiche e tecnologiche relative al monitoraggio e al controllo degli odori e gli aggiornamenti in merito alla normazione tecnica di settore, occorsi negli ultimi anni, hanno reso necessario un adeguamento dei contenuti del documento SNPA citato.

Il documento è strutturato in modo da contenere una trattazione generale delle diverse possibilità di approccio metodologico, a partire dal monitoraggio e controllo delle emissioni odorigene, fino alla valutazione di impatto con l'ausilio di metodi predittivi e all'adozione di strumenti preventivi per la riduzione dell'emissione, attraverso opportune tecnologie di trattamento ed accorgimenti di tipo gestionale.

In particolare, nelle differenti sezioni del documento sono affrontati i seguenti aspetti:

- elementi generali relativi alla percezione olfattiva e al fenomeno di molestia;
- principali riferimenti normativi nazionali e regionali;
- descrizione delle metodologie di monitoraggio e controllo con particolare riferimento per gli aspetti legati al campionamento, ai metodi di caratterizzazione chimica, all'olfattometria dinamica, all'applicazione dei sistemi automatici di monitoraggio (IOMS), al monitoraggio della percezione olfattiva ad opera di panel addestrato in campo e analisi delle segnalazioni della popolazione;
- modellistica di dispersione per lo studio della valutazione di impatto odorigeno;
- elementi descrittivi relativi ai principali sistemi di abbattimento impiegati.



# 1. L'ODORE E LA SUA PERCEZIONE

Con il termine "odore" ci si riferisce alla sensazione generata dall'interazione di alcuni composti chimici, presenti in una miscela gassosa e caratterizzati da sufficiente volatilità, con i recettori del sistema olfattivo.

## 1.1. CENNI SUL MECCANISMO FIOLOGICO DI PERCEZIONE DELL'ODORE

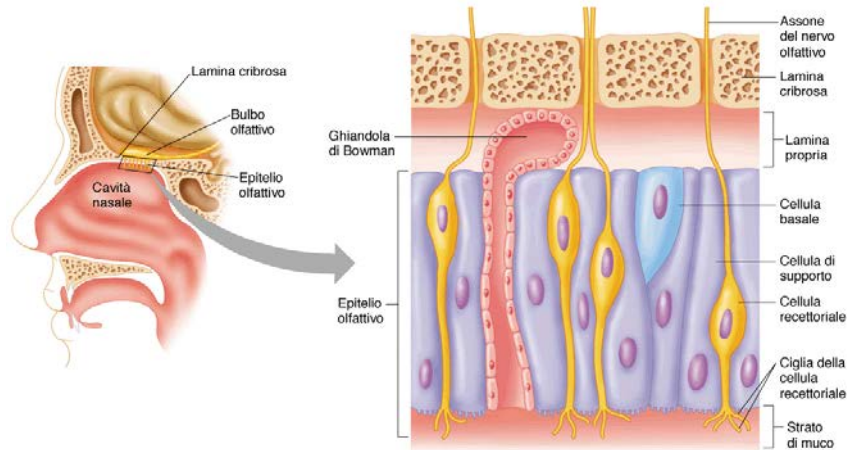
Dal punto di vista evolutivo, l'olfatto è considerato il più antico dei cinque sensi, come dimostrano sia il suo legame con le parti più remote e primitive del cervello (quelle che controllano gli istinti primari e le emozioni), sia il suo elevato grado di conservazione a livello strutturale e funzionale; infatti, il ruolo di senso chimico primario che svolgeva negli organismi primordiali, per l'interazione con l'ambiente di vita (orientamento spaziale, ricerca di cibo, approcci sessuali, presenza di pericoli, ecc.), è rimasto essenzialmente invariato negli organismi attuali. Tuttavia, mentre per la maggior parte degli animali è ancora evidente la fondamentale influenza della percezione olfattiva sulle funzioni vitali di sopravvivenza e riproduzione, l'uomo tende spesso a considerare l'olfatto un "senso ausiliario", di secondaria importanza rispetto ad altri sensi come la vista, l'udito ed il gusto (dai quali si ottengono informazioni che generalmente si ritengono più dirette e più importanti). In realtà, l'olfatto interagisce con molti aspetti diversi della vita e del comportamento dell'uomo, ed è peraltro noto come i sensi chimici (olfatto e gusto) arricchiscono l'interazione dell'uomo con l'ambiente esterno e rendono le sue esperienze più complete (si pensi all'intenso potere evocativo degli odori e alla loro capacità di influenzare l'umore). Il tipo di informazione portata dagli stimoli olfattivi, l'odore appunto, non corrisponde ad una definita grandezza fisica (come la lunghezza d'onda per la vista o la frequenza dell'oscillazione di pressione per l'udito); l'odore non coincide con l'odorante che lo produce, né d'altronde è una caratteristica intrinseca delle molecole, ma corrisponde piuttosto alla sensazione che la sostanza provoca dopo essere stata interpretata dal sistema olfattivo. È, quindi, il risultato della combinazione di molteplici fattori, alcuni legati alle proprietà chimiche delle molecole, altri relativi agli effetti psico-fisici che esse producono quando vengono rivelate dall'olfatto, altri ancora più strettamente legati alla sfera soggettiva dell'individuo.

Il meccanismo che porta alla percezione olfattiva ha origine nel naso, a livello dell'epitelio olfattivo, dove sono localizzate le cellule sensoriali (neuroni) responsabili dell'interazione con le molecole odorogene e si sviluppa attraverso una serie di trasduzioni, trasmissioni ed elaborazioni dell'informazione portata dallo stimolo olfattivo al cervello, che ne elabora la risposta, sia in termini cognitivi di riconoscimento e valutazione della sensazione, sia introducendo componenti emozionali ed istintive.

Dal punto di vista anatomico (Figura 1.1), il sistema olfattivo è diviso in tre componenti principali:

- **Epitelio olfattivo:** tessuto delle cavità nasali in cui sono localizzate le cellule neurosensoriali (recettori olfattivi), dotate di espansioni ciliari che portano le proteine recettrici di membrana, responsabili dell'interazione con le molecole di odorante. Consiste di tre tipologie di cellule: basali, di sostegno e neuroni olfattivi sensoriali. Le cellule basali sono cellule staminali che danno origine ai neuroni olfattivi sensoriali, uniche cellule nervose che vengono continuamente sostituite nel corso di tutta la vita, con un ciclo di morte e rigenerazione di circa 60- 90 gg; le cellule di sostegno sono dotate di numerosi microvilli e hanno la funzione di produrre il muco che ricopre l'epitelio olfattivo; i neuroni olfattivi sensoriali sono in realtà i neuroni bipolari, ognuno dei quali possiede una sottile asta dendritica contenente ciglia specializzate che forniscono la superficie di trasduzione per gli stimoli odorigeni. Il legame delle molecole odorogene ai recettori presenti sulla membrana della superficie ciliare produce un'attivazione delle proteine G che, evocando una cascata enzimatica, conducono alla fosforilazione delle proteine del canale, in grado, di incidere sul gating dei canali ionici.
- **Bulbo olfattivo:** struttura, all'interno della scatola cranica, altamente organizzata composta da diversi strati distinti e specializzazioni sinaptiche, in cui convergono i prolungamenti dei neuroni e sede di una prima parziale sintesi ed elaborazione dell'informazione portata dallo stimolo in una forma percepibile dai centri cerebrali;
- **Corteccia olfattiva (sistema olfattivo centrale):** struttura cerebrale che riceve il segnale parzialmente processato dal bulbo e, a sua volta, lo trasmette alle aree coinvolte nell'elaborazione finale della risposta dell'individuo allo stimolo olfattivo. La trasmissione può verificarsi attraverso due modalità: il primo porta al sistema limbico, che governa componenti inconscie ed emozionali della percezione e all'ippocampo, responsabile della memoria olfattiva; la seconda porta al talamo e alla corteccia frontale, coinvolti nell'interpretazione cognitiva dello stimolo (tipo di odore, intensità, piacevolezza).

Figura 1.1: Rappresentazione del sistema olfattivo



La percezione dell'odore, compresa un'interpretazione emotiva, viene effettuata principalmente nella corteccia. Il fastidio provocato da un odore deriva dall'attribuzione negativa dello stimolo, che è influenzata dal contesto ambientale. La regione olfattiva della mucosa nasale copre le superfici superiori delle fessure nasali e la parte superiore dei turbinati superiori. Questa regione, con una superficie totale di circa 4 cm<sup>2</sup>, contiene circa 10-30 milioni di cellule olfattive, che terminano in un bulbo con circa dieci ciglia che formano una rete nella mucosa di rivestimento. Esistono circa 400 classi di recettori olfattivi, e ogni cellula è sensibile a vari odoranti, permettendo una vasta gamma di combinazioni. Gli esseri umani possono distinguere circa 10.000 odori diversi. Tuttavia, attualmente non è possibile prevedere una sensazione olfattiva basata esclusivamente sulla struttura chimica di un odorante, impedendo la creazione di un sistema di classificazione degli odori. Gli assoni delle cellule recettoriali formano fasci chiamati nervi olfattivi, che permettono l'eccitazione sincrona di cellule non vicine, migliorando la rilevazione di stimoli deboli. I processi di inibizione laterale sopprimono segnali intensi e duraturi, un fenomeno noto come adattamento sensoriale periferico, che protegge dal sovraccarico sensoriale. I nervi olfattivi entrano nei bulbi olfattivi, dove formano sinapsi con i dendriti delle cellule mitrali. Diverse centinaia di assoni olfattivi primari convergono su una singola cellula mitralica, elaborando le informazioni olfattive. Dai bulbi olfattivi, i neuroni di secondo e terzo ordine trasmettono le informazioni al sistema limbico e al talamo, arrivando infine all'area di proiezione del cervello. I cicli di feedback dei nervi efferenti consentono l'adattamento sensoriale centrale. In sintesi, la percezione degli odori è una preconditione per il fastidio olfattivo, ma la reazione di fastidio è anche influenzata da fattori personali e contestuali.

## 1.2. PROPRIETÀ CARATTERISTICHE DELL'ODORE

Esiste una sottile differenza tra percezione e sensazione: si parla di sensazione quando l'odore è rivelato a livello neuronale, di percezione quando si diviene coscienti di aver rilevato un odore; si stima che siano necessari circa 500 millisecondi affinché un odore venga registrato ed altrettanti perché si possa coscientemente percepirlo.

La percezione sensoriale degli odoranti può essere descritta mediante le seguenti caratteristiche:

- percettibilità;
- intensità;
- tono edonico;
- qualità;
- natura chimico-fisica delle sostanze.

### Percettibilità

Una sostanza odorigena può essere percepita quando raggiunge in atmosfera una concentrazione minima, detta "soglia di percettibilità" richiesta per provocare uno stimolo nel sistema olfattivo. La soglia di percettibilità (Odour Threshold - OT) è definita come la concentrazione minima di odorante che viene percepita dal 50% della popolazione esposta; la soglia di percezione esprime, quindi, la concentrazione minima a cui può essere avvertito un odorante ma non implica la capacità di distinguere e identificare tale sensazione. Per questo è stata definita anche la soglia di riconoscimento: è la concentrazione minima di odorante che ne permette non solo la rilevazione, ma anche la descrizione qualitativa. In letteratura sono presenti differenti riferimenti bibliografici per la definizione degli Odour Threshold relativi a singole sostanze odorogene; tali riferimenti non sono univoci nell'attribuzione dei valori di

soglia, incongruenza da attribuirsi ai differenti metodi utilizzati nella loro determinazione (Takeoka, 1998; U.S. EPA, 1992; Nagata, 2003; Van Gemert, 2011). È bene precisare che i valori tabulati sono comunque riferiti a sostanze pure; in presenza di miscele, infatti, le diverse sostanze possono interagire in maniera complessa dando origine ad effetti di additività, sinergia e antagonismo; schematicamente:

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

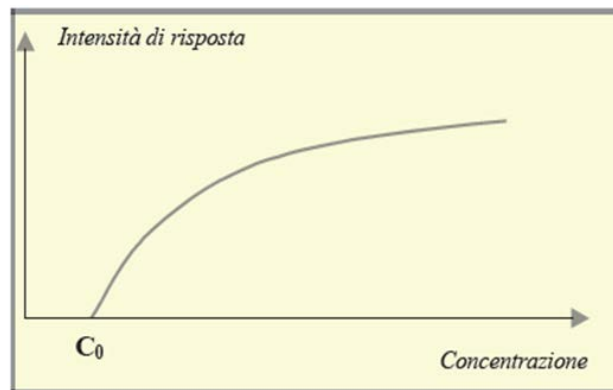
dove  $R_A$  e  $R_B$  rappresentano la soglia di perceibilità di due sostanze pure, mentre  $R_{AB}$  è la soglia di percezione della miscela ottenuta combinando le due sostanze.

### Intensità

L'intensità di odore è la proprietà che esprime la forza dello stimolo olfattivo e ne rappresenta l'effetto a valori di concentrazione dell'odorante superiori alla soglia di percezione. 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 nella miscela gassosa, mentre l'intensità è una misura della grandezza della sensazione che lo stimolo genera, venendo rilevato e interpretato dal sistema olfattivo, ed è chiaramente dipendente dall'odorante e dall'individuo che lo avverte.

Sebbene concettualmente diverse, concentrazione ed intensità di odore sono grandezze correlate: solitamente, tanto più elevata è la concentrazione dell'odorante, tanto più intensa è la sensazione che genera. Tuttavia, analogamente a quanto avviene per altri sensi, come vista e udito, la relazione tra grandezza dello stimolo e intensità non è lineare ma logaritmica del tipo  $I = K \log C$  (Figura 1.2).

Figura 1.2: Relazione logaritmica tra intensità e concentrazione



dove  $C$  è la concentrazione,  $I$  l'intensità di odore e  $K$  la costante sperimentale che lega le due grandezze.

La Figura 1.2 rappresenta l'andamento logaritmico della funzione I-C (Intensità-Concentrazione), evidenziando il fatto che, al di sotto della soglia di percezione ( $C_0$ ), l'intensità rimane costantemente nulla.

Esistono diverse funzioni matematiche che illustrano questa dipendenza, la scelta di una delle due funzioni illustrate di seguito dipende dalle condizioni considerate:

$$\text{RELAZIONE DI WEBER-FECHNER: } I = K_W \log (C/C_S)$$

dove

$I$ : intensità di odore

$C$ : concentrazione dell'odorante (in  $ou/m^3$ )

$C_S$ : concentrazione alla soglia di percezione ( $1\ ou/m^3$ )

$K_W$ : coefficiente di Weber-Fechner, caratteristico dell'odorante, da determinare sperimentalmente mediante misure olfattometriche sia di concentrazione sia di intensità.

$$\text{RELAZIONE DI STEVENS: } I = K_S (C - C_S)^n$$

dove  $K_S$  ed  $n$  sono i coefficienti di Stevens, anch'essi determinati sperimentalmente.

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. Al panel 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. Generalmente, si usano scale a sei livelli come quella riportata in Tabella 1.1, perché un maggior dettaglio nella classificazione porta ad una maggiore indecisione del panel. I principali riferimenti per la misura dell'intensità attraverso standard definiti sono rappresentati dalle norme tecniche VDI 3882 – Part1:2021 (Germania), ASTM E544-10 (USA) e AFNOR X 43-103 (Francia).

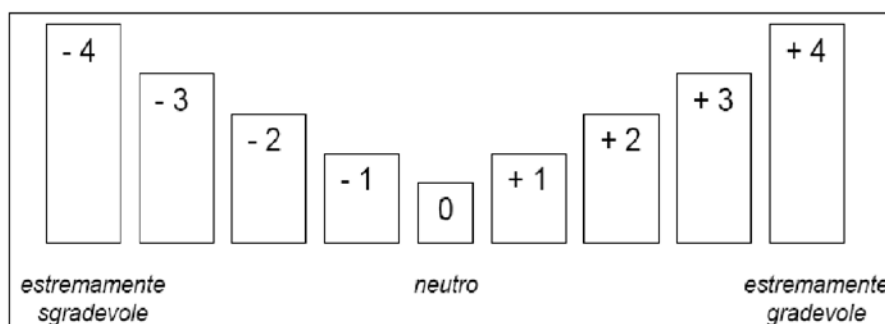
Tabella 1.1: Esempio di scala per la definizione dell'intensità

Livello di intensità	Descrizione
0	nessun odore
1	odore appena avvertito
2	odore debole ma riconoscibile
3	odore chiaramente identificabile
4	odore forte
5	odore molto forte

### Tono edonico

Il tono edonico è la proprietà che lega un odore allo stimolo di piacere o di repulsione che può provocare, esprimendone il grado di sgradevolezza o di gradevolezza. Può essere espresso come valore o posizione su una scala di misura; una delle scale comunemente adottate comprende i numeri da - 4 ("estremamente sgradevole") a + 4 ("estremamente gradevole"), dove il valore 0 è associato al tono edonico neutro ("né gradevole né sgradevole") (Figura 1.3).

Figura 1.3: Esempio di scala di tono edonico a 9 livelli

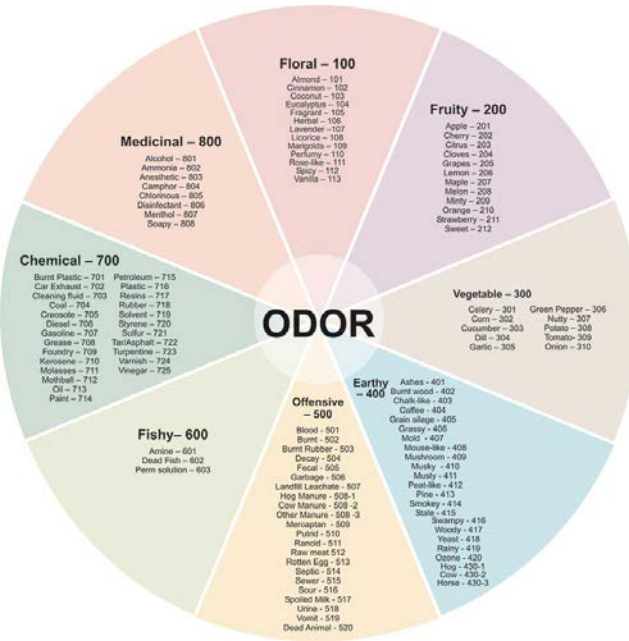


### Qualità

La qualità è la proprietà che permette di identificare un odore e che lo rende distinguibile dagli altri. Il metodo più diffuso per la valutazione di tale parametro è il metodo del confronto diretto, che consiste nel confronto tra l'odorante in esame e un set di sostanze di riferimento, aventi una qualità definita per mezzo di un vocabolario di descrittori, parole o brevi frasi che sintetizzano le caratteristiche della sensazione olfattiva provocata dall'odorante. Generalmente l'insieme finito di alternative (talvolta denominato "ruota degli odori") è costituito da descrittori di odori noti dalla comune vita quotidiana, come in Figura 1.4 (Suffet, 2004, 2007, 2009; DEFRA, 2010;

McGinley, 2002). I descrittori sono generalmente impiegati come ausilio ad altri metodi strumentali di analisi, come la Gas-Cromatografia/Olfattometria (GC-O).

Figura 1.4: Esempio di descrittori relativi all'odore (Dalton, 2011)



Natura chimico – fisica

La capacità di determinare un odore è legata a caratteristiche intrinseche delle sostanze, quali:

- **diffusibilità o volatilità:** un odore è percepito quando una molecola gassosa si dissolve nella mucosa olfattiva e riesce a legarsi ad un recettore. In tal senso, la volatilità dei composti rappresenta un parametro mediante il quale quantificare la capacità da parte di una sostanza di produrre odore. 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;
- **struttura molecolare:** le caratteristiche odorogene di un composto possono variare in considerazione dei gruppi funzionali (aldeidico, carbonilico, carbossilico, amminico, idrossilico, sulfidrilico, ecc.) e delle caratteristiche strutturali della molecola. Le principali classi di composti odorigeni sono: composti solforati, acidi grassi volatili, alcoli, aldeidi, chetoni, eteri, esteri ammine e terpeni.

In Tabella 1.2 sono riportate le principali classi di composti odorigeni con indicazioni circa le caratteristiche qualitative dell'odore ad essi associato ed i processi di formazione.

Tabella 1.2: Principali classi di sostanze odorogene

Classi di composti	Composti chimici	Odore	Produzione
Composti solforati ridotti	H <sub>2</sub> S	Uova marce	Scissione di cisteina e metionina in condizioni anaerobiche
	Dimetilsolfuro - dimetildisolfuro	Vegetali in decomposizione	Degradazione delle proteine in condizioni anaerobiche
	Mercaptani	Cavolo in decomposizione	Condizioni anaerobiche spinte
Composti azotati	NH <sub>3</sub>	Caratteristico acuto e pungente	Condizioni anaerobiche
	Ammine primarie, secondarie e terziarie	Pungente di pesce	Deaminazione degli amminoacidi in condizioni anaerobiche
Terpeni	Limonene, α-pinene	Agrumi, aghi di pino e resine	Biodegradazione degli scarti ligno-cellulosici
Acidi volatili	Acidi grassi a catena breve	Rancido e pungente	Incompleta ossidazione dei lipidi in condizioni anaerobiche
Alcoli	Alcoli	Classico di alcol	Demolizione e fermentazione in condizioni anaerobiche
Altri composti ossigenati	Aldeidi	Dolce, pungente di frutti	Demolizione e fermentazione in condizioni anaerobiche
	Chetoni	Pungente, dolciastro, fortemente sgradevole	Demolizione e fermentazione in condizioni anaerobiche
	Eteri	Tipico degli eteri	Demolizione e fermentazione in condizioni anaerobiche
	Esteri	Dolciastro	Demolizione e fermentazione in condizioni anaerobiche

Tra le proprietà caratteristiche dell'odore, il tono edonico non è, però, di per sé sufficiente a definire un odore come offensivo per chi lo percepisce; il concetto di molestia olfattiva è legato agli effetti negativi prodotti a seguito dell'esposizione ad un odore per un periodo tipicamente esteso e ripetuto nel tempo (Brancher, 2017). Tutti gli odori, infatti, indipendentemente dal loro grado di gradevolezza, sono potenzialmente in grado di generare molestia in virtù di fattori determinanti quali durata e frequenza di esposizione, nonché intensità e contesto nel quale viene avvertito l'odore. Infatti, non è raro che anche un odore piuttosto piacevole possa essere percepito da un soggetto come molesto, se frequente e ad alta concentrazione. Si rileva, inoltre, che l'esposizione ad un odore indesiderato per periodi prolungati può significativamente influenzare il benessere degli individui, ingenerando sintomi a livello psico-fisico, quali stati d'ansia, mal di testa, irritazioni agli occhi, problemi respiratori, nausea, etc. (Shiffman, 1998; Sucker, 2008; Aatamila, 2011), ed interferire sulle attività economiche quali attività commerciali, turistiche, con effetti evidenti anche sul contesto sociale, in termini di impoverimento della qualità dell'ambiente, svalutazione dei beni e perdita del loro normale uso, nonché incertezza sulla percezione della sicurezza (Nicell, 2009).

Pertanto, la registrazione di effetti negativi quali fastidio, molestia, lamentela presuppone che siano determinati:

- una sorgente emissiva, per mezzo della quale l'odore viene introdotto in atmosfera;
- un percorso attraverso cui l'odore si disperde in atmosfera esternamente alla sorgente. Si consideri che:
  - qualunque fattore aumenti la diluizione e la dispersione del pennacchio odorogeno dalla sorgente al recettore contribuirà a ridurre la concentrazione al recettore e quindi la conseguente esposizione del recettore;
  - incrementando la lunghezza del percorso, aumenterà l'effetto di diluizione e la dispersione;
- la presenza di recettori che potrebbero lamentare effetti negativi.

Alla definizione di molestia olfattiva, pertanto, concorrono diversi fattori relazionati tra loro; in letteratura, trova ampia diffusione l'impiego del parametro denominato FIDOL (acronimo di Frequency, Intensity, Duration, Offensiveness, Location) (Watts, 1995; Freeman, 2002) che riassume il contributo dei seguenti fattori:

- *Frequency* - frequenza: numero di volte in cui un odore è rilevato in un intervallo di tempo;
- *Intensity* - intensità: grandezza della sensazione generata da un odore;

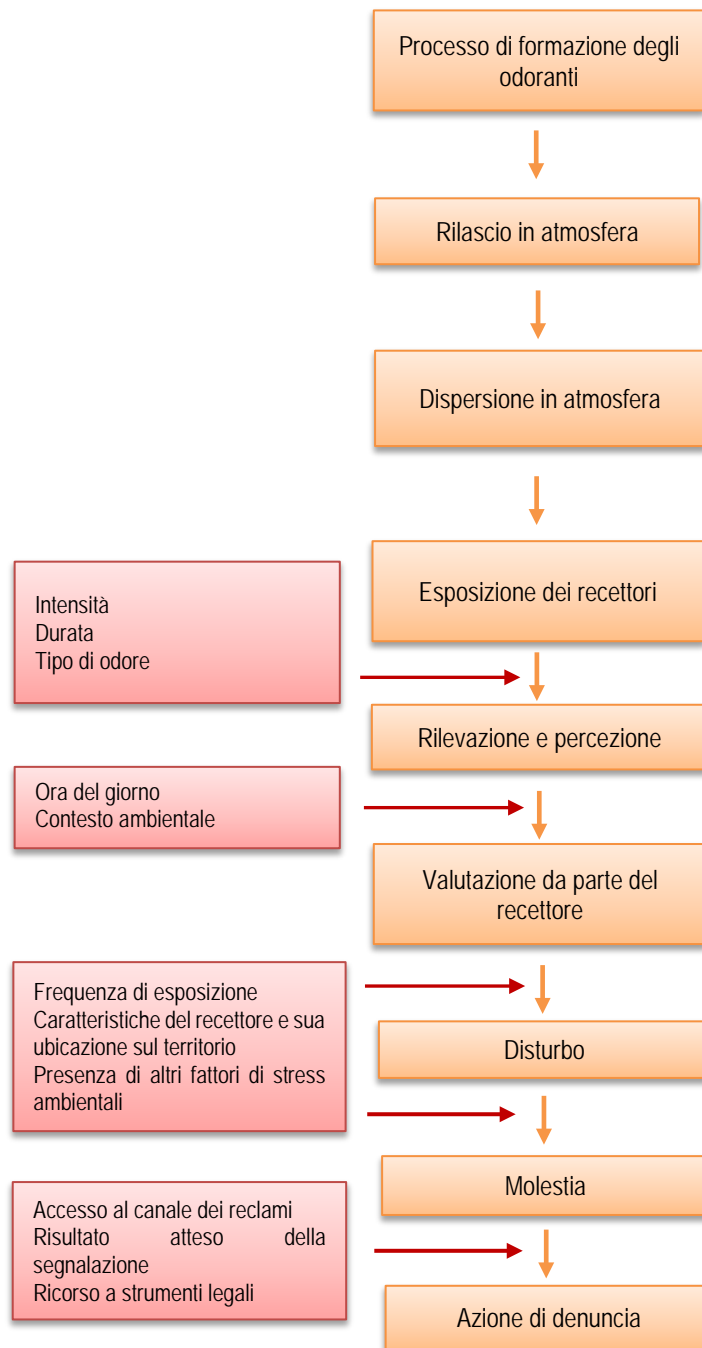
- *Duration* - durata: intervallo di tempo in cui un individuo è esposto ad un odore;
- *Offensiveness* - offensività o tono edonico: grado di sgradevolezza o di gradevolezza di un odore;
- *Location* - tipologia di recettore che percepisce l'odore: definisce la tipologia di uso del suolo e la natura delle attività umane rilevate nei pressi di una sorgente odorigena.

Le informazioni relative al parametro FIDOL trovano applicazione negli studi di valutazione di impatto e sono considerati criteri da disciplinare nell'ambito di provvedimenti normativi redatti in ambito internazionale (Nicell, 2009; Brancher, 2017).

In Figura 1.5 è mostrato sinteticamente come i diversi elementi possono concorrere alla determinazione della molestia olfattiva, a partire dal processo di formazione degli odoranti. Il termine molestia viene comunemente riferito all'effetto cumulativo prodotto da ripetuti eventi di disturbo in un lungo periodo di tempo, che genera un comportamento modificato o alterato nel recettore umano. Il disturbo, invece, fa riferimento al complesso delle reazioni umane che si verifica in seguito ad un'esposizione immediata ad un fattore di stress ambientale (odore) che porta ad una valutazione cognitiva negativa (Van Harreveld, 2001). Il meccanismo che porta da un'emissione di odoranti in atmosfera alla determinazione della molestia olfattiva risulta abbastanza complesso da descrivere; genericamente, si possono descrivere i seguenti fattori principali (Van Harreveld, 2001):

- caratteristiche dell'odore (rilevabilità, intensità, tono edonico);
- diluizione in atmosfera (turbolenza o stabilità atmosferica, direzione del vento, velocità del vento, ecc.);
- esposizione dei recettori (es. ubicazione, tempo trascorso all'aperto);
- contesto della percezione (presenza di odori di fondo, situazione ambientale);
- caratteristiche del recettore (storia dell'esposizione, fattori psicologici, modalità di reazione, percezione dei rischi per la salute).

Figura 1.5: Rappresentazione schematica della determinazione della molestia olfattiva





## 2. I PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI IN MATERIA DI ODORI

### 2.1. ELEMENTI DELLA NORMATIVA AMBIENTALE NAZIONALE

A causa della complessità nella valutazione degli aspetti legati alla problematica odorigena, l'ordinamento italiano, per lungo tempo, ha evidenziato una carenza di disposizioni specifiche volte a disciplinare le emissioni odorigene e gli impatti olfattivi mediante criteri quantitativi. Erano, infatti, riscontrabili solo generici riferimenti qualitativi (si veda, ad esempio l'art. 177 del D.Lgs. n. 152/2006 che specifica che i rifiuti devono essere gestiti "senza causare inconvenienti da rumori o odori") e/o richiami all'inquinamento atmosferico, limitando la trattazione alla prevenzione e alla limitazione delle emissioni per le singole sostanze caratterizzate solo sotto l'aspetto tossicologico.

Tale lacuna normativa è stata colmata, nel tempo, da disposizioni locali/regionali di diverso rango (linee guida, leggi regionali, delibere di giunta, prassi), che si sono rese necessarie per superare le criticità legate ai casi di molestia olfattiva.

L'esigenza di normare a livello nazionale la disciplina delle emissioni odorigene nasce dall'applicazione della Direttiva UE 2015/2193, attuata nell'ordinamento italiano tramite il D.Lgs. n. 183 del 15 novembre 2017 che ha razionalizzato il quadro normativo delle emissioni da impianti di combustione con la modificazione della Parte Quinta del D.Lgs. n.152/2006 e l'introduzione dell'art. 272-bis con le seguenti principali finalità:

- legittimare le normative emanate dalle Regioni sulle emissioni odorigene oggetto di molteplici contestazioni e contenziosi legali;
- dare avvio ad un processo di sistematizzazione su scala nazionale della normativa ambientale per le emissioni odorigene.

Nello specifico, l'art. 272-bis (Emissioni odorigene) prevede:

*"1. La normativa regionale o le autorizzazioni possono prevedere misure per la prevenzione e la limitazione delle emissioni odorigene degli stabilimenti di cui al presente titolo. Tali misure possono anche includere, ove opportuno, alla luce delle caratteristiche degli impianti e delle attività presenti nello stabilimento e delle caratteristiche della zona interessata, e fermo restando, in caso di disciplina regionale, il potere delle autorizzazioni di stabilire valori limite più severi con le modalità previste all'articolo 271:*

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

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

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

Con successivo Decreto Legislativo n. 102 del 30 luglio 2020 sono state introdotte disposizioni integrative e correttive al D.Lgs.183/2017 soprattutto in relazione ai medi impianti di combustione e aggiunte nuove definizioni e disposizioni volte al riordino del quadro normativo. In particolare, all'articolo 268 del D.Lgs.152/2006 viene inserita la definizione di "emissioni odorigene" indicate come "emissioni convogliate o diffuse aventi effetti di natura odorigena" (art. 268, co. 1, lett. f-bis).

I criteri e le modalità di applicazione dell'articolo 272-bis del D.Lgs. 152/2006 sono stati precisati nella pubblicazione del Decreto Direttoriale n. 309 del 28/06/2023 del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, recante l'approvazione del documento "Indirizzi per l'applicazione dell'articolo 272-bis in materia di emissioni odorigene di impianti e attività" (MASE 2023).

Il documento comprende cinque allegati:

1. Allegato A.1: Requisiti degli studi di impatto olfattivo mediante simulazione di dispersione.
2. Allegato A.2: Campionamento olfattometrico.
3. Allegato A.3: Strategia di valutazione della percezione del disturbo odorigeno.
4. Allegato A.4: Caratterizzazione chimica delle emissioni odorigene.
5. Allegato A.5: IOMS (Instrumental Odour Monitoring System).

Nel Decreto Direttoriale vengono approvati in via definitiva gli "Indirizzi" che forniscono un importante quadro di riferimento da utilizzare nei procedimenti istruttori e decisionali delle autorità competenti in materia di autorizzazioni ambientali: gli "Indirizzi" forniscono un primo elenco "di riferimento" di impianti e di attività aventi un potenziale impatto odorigeno (Tabella 1) che devono tenere in considerazione le emissioni odorigene nelle domande autorizzative e identificano una serie di procedure istruttorie applicabili a differenti situazioni (procedura estesa, procedura semplificata, procedura mediante relazione di ricognizione, procedura per i casi critici) in funzione soprattutto della presenza di impianti e attività dell'elenco di riferimento o in ulteriori categorie generali individuate dalle autorità regionali.

In ogni caso, si specifica che *"il documento non può in alcun modo interferire, considerata la propria natura, con l'applicazione delle normative regionali oggi vigenti in materia che assicurino, anche attraverso distinte modalità, un equiparabile livello di tutela in materia di emissioni odorigene"*. Ne consegue che *"resta sempre ferma la possibilità della normativa statale e regionale di applicare valori di accettabilità più severi, in particolare alla luce di esigenze connesse a specifiche situazioni territoriali"*.

Nel documento si precisa che *"gli Indirizzi si applicano in via diretta agli stabilimenti oggetto della Parte Quinta del D.Lgs.152/2006 (soggetti ad autorizzazione unica ambientale – AUA, autorizzazione alle emissioni o regimi autorizzativi in deroga) e in via indiretta, come criterio di tutela da utilizzare nell'istruttoria autorizzativa, alle installazioni soggette ad autorizzazione integrata ambientale – AIA. Gli indirizzi si applicano, altresì, nei casi in cui l'autorizzazione alle emissioni venga assorbita nelle AUA od in altre autorizzazioni uniche (come quelle in materia di rifiuti o di fonti rinnovabili) e nei casi in cui l'autorizzazione alle emissioni (o l'AUA in cui questa sia stata assorbita) è rilasciata per impianti in cui sono attivate le procedure autorizzative semplificate in materia di rifiuti. Più in generale, possono rappresentare un riferimento utilizzabile in tutte le procedure di verifica e/o di autorizzazione ambientale che considerino le emissioni in atmosfera e la cui istruttoria sia legittimata a mutare criteri e parametri di valutazione dalle normative di settore (come avviene per la procedura di screening, per la procedura di VIA, ecc.)"*.

## 2.2. ELEMENTI DELLA NORMATIVA AMBIENTALE REGIONALE E LOCALE

Allo scopo di disciplinare i casi di molestia olfattiva e sopperire all'assenza di una norma specifica nazionale, alcune Regioni/Province Autonome, nel tempo, hanno redatto specifiche norme e Linee guida (Tabella 2.1) di cui si riporta, nel seguito, una breve sintesi.

Tabella 2.1: Schema di sintesi dei provvedimenti normativi regionali e provinciali

Regione/Provincia	Tipologia di riferimento normativo	
	Settoriale	Generale
Piemonte	/	<b>D.G.R. n.13-4554 del 9/01/2017 L.R. 43/2000</b> Linee guida per la caratterizzazione e il contenimento delle emissioni in atmosfera provenienti dalle attività ad impatto odorigeno
Lombardia	<b>D.G.R. n. 12764 del 16/04/2003</b> Linea guida per la costruzione e l'esercizio degli impianti di produzione compost	<b>D.G.R. n. IX/3018 del 15/02/2012</b> Determinazioni generali in merito alla caratterizzazione delle emissioni gassose in atmosfera derivanti da attività a forte impatto odorigeno
Provincia Autonoma di Trento	/	<b>Deliberazione n. 1087 del 24/06/2016</b> Linee Guida sugli odori
Veneto	<b>D.G.R. n. 568 del 25/02/2005</b> Norme tecniche ed indirizzi operativi per la realizzazione e la conduzione degli impianti di recupero e di trattamento delle frazioni organiche dei rifiuti urbani ed altre matrici organiche mediante compostaggio, biostabilizzazione e digestione anaerobica	Nella seduta di Comitato VIA della Regione Veneto del 08/11/2023 è stato condiviso che il Decreto MASE 2023 dovrà essere utilizzato quale orientamento operativo per la valutazione dell'impatto odorigeno nelle istruttorie di Valutazione di Impatto Ambientale <a href="https://www.regione.veneto.it/web/vas-via-vinca-nuvv/strumenti">https://www.regione.veneto.it/web/vas-via-vinca-nuvv/strumenti</a>
Friuli Venezia Giulia	/	<b>Legge Regionale n. 13/2022</b> <b>Legge Regionale n.3/2024</b> Art. 88 (Modifica all'articolo 4 della L.R.13/2022) 1. Al comma 60 dell'articolo 4 della legge regionale 5 agosto 2022, n. 13, le parole <<le linee guida dell'Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente del Friuli Venezia Giulia (ARPA) concernenti la valutazione dell'impatto odorigeno da attività produttive>> sono sostituite dalle seguenti: <<le linee

		guida, definite entro centottanta giorni dalla data di entrata in vigore della legge regionale 10 maggio 2024, n. 3 (Disposizioni multisettoriali e di semplificazione), con deliberazione della Giunta regionale, per il rilascio delle autorizzazioni che ai sensi dell'articolo 272 bis, comma 1, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (Norme in materia ambientale), possono prevedere misure per la prevenzione e la limitazione delle emissioni odorigene degli stabilimenti di cui al titolo I della parte quinta del medesimo decreto legislativo 152/2006>>
Liguria	/	<b>D.G.R. n. 810 del 5/8/2020</b> Linee Guida per la definizione del Piano di Gestione degli Odori
Abruzzo	<b>D.G.R. n. 400 del 26/05/2004</b> <i>Caratteristiche prestazionali e gestionali richieste per gli impianti di trattamento dei rifiuti urbani</i>	/
Puglia	/	<b>L.R.32/2018 del 16/07/2018</b> Disciplina in materia di emissioni odorigene <b>D.G.R. 805/2019</b> Protocollo Operativo per la gestione delle segnalazioni di disturbo olfattivo
Basilicata	/	<b>D.G.R. n.466 del 11/06/2021</b> Linee guida per la prevenzione, mitigazione e caratterizzazione delle emissioni odorigene derivanti dagli impianti soggetti ad autorizzazione integrata ambientale (D.lgs.152/2006 parte seconda) <b>L.R. n. 39 del 23 settembre 2021</b> Norme per la prevenzione e la limitazione delle emissioni odorigene
Sicilia	<b>Ordinanza Commissariale 29/05/2002</b> Linee guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio	<b>D.A. 16/12/2015 (art.5)</b> Direttive sui contenuti delle autorizzazioni rilasciate ai sensi della Parte V del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii.
Emilia Romagna	<b>D.G.R. n. 1495 del 24/10/2011</b> Criteri tecnici per la mitigazione degli impatti ambientali nella progettazione e gestione degli impianti a biogas <b>D.G.R. n. 2347 del 22/11/2019</b> Criteri tecnici per la mitigazione degli impatti ambientali e territoriali per i "nuovi" impianti di recupero della forsu per la produzione di biogas e di biometano	<b>Determina n.426 del 18/05/2018</b> Approvazione della Circolare interna recante la Linea Guida 35/DT "Indirizzo operativo sull'applicazione dell'art. 272 Bis del D.Lgs.152/2006 e ss.mm.ii.
Sardegna	/	<b>D.G.R. n.9/42 del 23/02/2012</b> Direttive regionali in tema di autorizzazioni alle emissioni in atmosfera
Toscana	/	<b>L.R. n.25 del 3 luglio 2024</b> Legge di manutenzione dell'ordinamento regionale 2024

## REGIONE ABRUZZO

DGR n. 400 del 26/05/2004 Caratteristiche prestazionali e gestionali richieste per gli impianti di trattamento dei rifiuti urbani

Direttive regionali concernenti le caratteristiche prestazionali e gestionali richieste per gli impianti di trattamento dei rifiuti urbani:

- efficienza dei sistemi di trattamento secondo i principi dell'olfattometria dinamica;
- limite per tutti i punti campionati di 300 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>.

## REGIONE BASILICATA

Legge Regionale 23 settembre 2021, n. 39

"Norme per la prevenzione e la limitazione delle emissioni odorigene".

Le disposizioni della legge si applicano al fine di prevenire e limitare le molestie olfattive prodotte da attività antropiche e per includere i valori limite relativi alle emissioni odorigene nelle autorizzazioni.

Esse si applicano:

- a) ai nuovi impianti e nuove attività legge, a condizione che detti impianti e attività siano soggetti:

- a.1) all'autorizzazione concernente le emissioni in atmosfera D.Lgs.152/2006 Parte Quinta, art.269; tutti gli impianti della parte V;
- a.2) all'autorizzazione alla Gestione dei Rifiuti di cui al D.Lgs.152/2006 Parte Quarta, Titolo I, Capo IV;
- a.3) alla valutazione d'impatto ambientale o alla verifica di assoggettabilità a valutazione di impatto ambientale (screening);
- b) a tutti gli impianti ed attività esistenti, nei casi di:
  - b.1) modifiche o estensioni dei progetti relative ad impianti già autorizzati, realizzati o in fase di realizzazione laddove per tali modifiche sia necessaria la Verifica di Assoggettabilità a Valutazione di Impatto Ambientale (Screening) o la Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) e ove tali modifiche o estensioni comportino una variazione significativa del quadro emissivo odorigeno;
  - b.2) ripetute segnalazioni di odori, non ascrivibili solamente ad imprevedibili episodi di malfunzionamento o di anomalie impiantistiche o gestionali, nel corso dell'esercizio pregresso degli impianti e delle attività che trovino riscontro oggettivo nelle attività di vigilanza e controllo di ARPAB o di altri enti o organi di controllo;
- c) ad impianti ed attività, qualora l'Autorità Competente ritenga necessario e urgente riesaminare l'autorizzazione in esito alle attività di cui all'articolo 5, a seguito di ripetute segnalazioni di odori.

Deliberazione 11 giugno 2021, n.466

Approvazione di "Linee guida per la prevenzione, mitigazione e caratterizzazione delle emissioni odorigene derivanti dagli impianti soggetti ad autorizzazione integrata ambientale (D.lgs 152/2006 parte seconda)"

Le presenti linee guida si applicano alle installazioni nuove o esistenti soggette ad Autorizzazione Integrata ambientale, ai sensi del Titolo III bis della Parte Seconda del D.Lgs.152/2006, che durante il loro esercizio, in ragione delle caratteristiche delle lavorazioni, del volume e della tipologia di attività, possono ragionevolmente dare luogo ad emissioni odorigene.

**REGIONE EMILIA ROMAGNA**

D.G.R. n.1495 del 24/10/2011

Criteri tecnici per la mitigazione degli impatti ambientali nella progettazione e gestione degli impianti a biogas:

- Misure strutturali e gestionali (stoccaggi biomasse e digestato, movimentazione);
- L'autorizzazione deve prevedere un PdM delle emissioni odorigene;
- Campagna di rilevamento delle emissioni odorigene (EN 13725:2004) sia alle sorgenti, che monte/valle dell'impianto;
- 2 autocontrolli/anno ed eventuale approfondimento modellistico;
- Valori guida (trattamenti digestato): 400 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>; NH<sub>3</sub> 5 mg/Nm<sup>3</sup>.

D.G.R. n.2347 del 22/11/2019

Criteri tecnici per la mitigazione degli impatti ambientali e territoriali per i "nuovi" impianti di recupero della forsu per la produzione di biogas e di biometano:

- d) criteri per la localizzazione degli impianti;
- e) criteri urbanistici per il razionale e ordinato assetto del suolo;
- f) criteri e condizioni per la mitigazione degli impatti ambientali;
- g) obbligo di recupero della CO<sub>2</sub> prodotta dal trattamento di purificazione del biogas da utilizzare ad esempio nell'industria alimentare;
- h) calcolo del contributo emissivo complessivo relativamente ai mezzi pesanti di trasporto impiegati per il conferimento dei materiali in alimentazione;
- i) per le emissioni odorigene, al di fuori delle zone produttive, deve essere assicurata una "zona di rispetto" pari a 500 m in linea d'aria rispetto ad ogni edificio limitrofo ove sia prevista la stabile presenza di persone;
- j) la produzione di scarti (sovvalli) non deve essere superiore al 10% dei rifiuti in ingresso alla fase di digestione anaerobica e i reflui liquidi prodotti nel corso del processo (percolati, frazione liquida del digestato, acque di prima pioggia) devono essere prioritariamente riciclate nei processi biologici in corso.

Determina n.426 del 18/05/2018

Approvazione della Circolare interna recante la Linea Guida 35/DT "Indirizzo operativo sull'applicazione dell'art. 272Bis del D.Lgs.152/2006 e ss.mm". E' stato predisposto un elenco di impianti o attività a potenziale rischio odorigeno a cui richiedere approfondimento in materia di emissioni odorigene (Tabella 1) individuando i relativi percorsi autorizzativi (AUA, AIA, AU art.208 Gestione dei Rifiuti, VIA e Screening).

Si applica in via preventiva a tutti i **nuovi impianti** che possono dare luogo ad emissioni odorigene e anche a tutti gli **impianti ed attività esistenti** di cui alla Tabella 1, oggetto di rinnovo, riesame o modifica dell'Autorizzazione, qualora le modifiche proposte

producano un peggioramento delle emissioni odorigene oppure, si siano avute ripetute segnalazioni di odori non ascrivibili solamente ad imprevedibili episodi di malfunzionamento/anomalie impiantistiche o gestionali.

Vengono definiti dei criteri di riferimento per la valutazione di accettabilità del disturbo olfattivo, differenziati in base alla destinazione urbanistica (aree residenziali/non residenziali), in base alla distanza dalla sorgente (maggiore di 500 metri; tra i 200 e i 500 metri; inferiore ai 200 metri) e compresi fra 1 e 4 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>.

Nei casi di stabilimenti con impianti o attività esistenti che determinano situazioni di disagio olfattivo accertato da Arpae o altri enti o organi di controllo e che coinvolgono porzioni significative di territorio e di popolazione si applica una procedura che prevede diverse fasi di indagini applicando diverse tecniche (analisi chimica ed olfattometrica, agende di odore, modelli di dispersione, nasi elettronici).

### **REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA**

A seguito della pubblicazione del Decreto Direttoriale del MASE n. 309 del 28/06/2023, Arpa FVG ha sostituito le proprie linee guida con un nuovo documento che rimanda al Decreto del MASE.

Le indicazioni tecniche presenti nel Decreto del MASE poco si discostano da quelle descritte nelle linee guida precedenti, ma questo rimando ha un importante risvolto nella gestione dei casi di molestia olfattiva.

### **REGIONE LIGURIA**

DGR n. 810 del 05/08/2020 Linee Guida per la definizione del Piano di Gestione degli Odori

La D.G.R. definisce alcuni indirizzi allo scopo di fornire utili strumenti alle Autorità Competenti per il rilascio delle autorizzazioni, nonché agli operatori del settore, per fornire un quadro tecnico di riferimento nell'ottica di assicurare un'omogeneità di disciplina e di gestione a livello regionale della problematica legata all'impatto olfattivo di attività produttive

La D.G.R. approva il documento tecnico "Linee guida per la definizione del piano di gestione degli odori", che definisce in forma sintetica il contenuto dei piani di gestione degli odori, quale strumento utile alle autorità competenti per le attività di autorizzazione, mutuando anche dall'esperienza maturata dalla Regione Lombardia con la applicazione delle "Linee Guida per la caratterizzazione delle emissioni gassose in atmosfera dell'attività ad impatto odorigeno", approvate con D.G.R. della Regione Lombardia n.IX/3018 del 15/02/2012.

Nel caso in cui questo sia previsto dalle BAT Conclusioni, il Gestore dovrà predisporre un piano di gestione degli odori, che dovrà essere valutato nei suoi diversi aspetti nel corso dell'istruttoria, approvato e successivamente attuato. Nel caso in cui non sia esplicitamente previsto dalle BAT Conclusioni, dovrà essere comunque predisposto il Piano di gestione degli odori, da quelle installazioni per le quali si rilevano frequenti problemi o lamentele relative all'impatto odorigeno.

La D.G.R. stabilisce gli elementi fondamentali che dovranno far parte del Piano di gestione degli odori:

1. Caratterizzazione dell'odore e dell'impatto dell'impianto sui recettori sensibili
2. Misure di prevenzione e riduzione
3. Piano di monitoraggio
4. Piano di intervento

### **REGIONE LOMBARDIA**

D.G.R. n.12764 del 16/04/2003 "Linea guida per la costruzione e l'esercizio degli impianti di produzione compost"

La Delibera fornisce indicazione su:

- Valutazione impiantistica (caratteristiche dell'impianto, ciclo di produzione, compatibilità dei sistemi di abbattimento)
- Valutazione urbanistica (localizzazione degli impianti in relazione al contesto territoriale)
- Limite alle emissioni odorigene: 300 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>

D.G.R. n.IX/3018 del 15 febbraio 2012 "Determinazioni generali in merito alla caratterizzazione delle emissioni gassose in atmosfera derivanti da attività a forte impatto odorigeno"

Il campo di applicazione delle linee guida sono tutte le attività che, durante il loro esercizio, danno luogo ad emissioni odorigene e che sono soggette ad autorizzazione integrata ambientale e autorizzazione alla gestione dei rifiuti o a quelle da cui possono derivare emissioni odorigene sottoposte a valutazione d'impatto ambientale o a verifica di assoggettabilità.

Le linee guida trovano applicazione anche ad impianti esistenti in caso di conclamate problematiche olfattive che interessano il territorio e nel caso di nuovi impianti che, a seguito della messa a regime, diano luogo a problematiche odorigene.

La Delibera include quattro allegati che illustrano come effettuare i modelli di dispersione dell'odore, il campionamento olfattometrico, la valutazione del disturbo olfattivo tramite la popolazione residente e la caratterizzazione chimica delle emissioni odorigene.

**REGIONE PIEMONTE**

D.G.R. n.13-4554 del 9 gennaio 2017 – L.R. 43/2000 - Linee guida per la caratterizzazione e il contenimento delle emissioni in atmosfera provenienti dalle attività ad impatto odorigeno.

Le linee guida si applicano agli impianti soggetti ad Autorizzazione Integrata Ambientale che, in ragione delle caratteristiche delle lavorazioni, possono determinare emissioni olfattive nonché alle attività soggette a Valutazione di Impatto Ambientale o Verifica di assoggettabilità da cui derivino o possano derivare emissioni odorigene.

Inoltre, le stesse indicazioni possono essere applicate anche ad attività diverse da quelle individuate a fronte di problematiche che coinvolgono significative porzioni di territorio o di popolazione, laddove approcci preliminari per la risoluzione del problema sono risultati inefficaci.

**PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO**

Deliberazione n.1087 del 24 giugno 2016 – Linee Guida sugli odori

Le linee guida definiscono i criteri di riferimento per la valutazione di accettabilità del disturbo olfattivo. Essi sono differenziati in base alla destinazione urbanistica (aree residenziali/non residenziali), in base alla distanza dalla sorgente (maggiore di 500 metri; tra i 200 e i 500 metri; inferiore ai 200 metri) e compresi fra 1 e 4 unità olfattometriche al metro cubo. I limiti all'emissione sono definiti per ogni singola specifica attività/impianto ai fini di consentire il rispetto dei valori di accettabilità presso i recettori.

Nello specifico sono state definite distinte procedure a seconda che si tratti di autorizzare nuovi impianti o di risolvere problemi causati da impianti già esistenti. La procedura per i nuovi impianti si riferisce solo a quelli presumibilmente più impattanti ossia a quelli che richiedono Autorizzazioni Integrate Ambientali (AIA) o che riguardano il trattamento di rifiuti organici (FORSU) e consiste essenzialmente nella presentazione da parte del gestore di uno studio di impatto olfattivo da valutare, per l'eventuale imposizione dei limiti alle emissioni odorigene e di altre prescrizioni. Invece, per gli impianti esistenti l'applicazione è prevista a fronte di ricorrenti e significative segnalazioni di disturbo olfattivo da parte della popolazione a tutti gli impianti: sia quelli assoggettati ad autorizzazione integrata ambientale o di trattamento della FORSU per i quali non si presenti l'occasione di un riesame di autorizzazione per modifica sostanziale, sia quelli per cui è prevista l'assoggettamento ad altra autorizzazione ambientale (diversa dall'AIA o FORSU) di competenza del Servizio Autorizzazioni e Controlli di APPA.

**REGIONE PUGLIA**

LEGGE REGIONALE 16 luglio 2018, n. 32 - "Disciplina in materia di emissioni odorigene"

Le disposizioni della legge regionale si applicano a:

- progetti assoggettati a verifica di assoggettabilità a valutazione di impatto ambientale o valutazione di impatto ambientale di cui alla parte seconda del D.Lgs.152/2006 in caso di presenza di sorgenti odorigene significative e/o modifiche o estensioni dei progetti già autorizzati, realizzati o in fase di realizzazione laddove per tali modifiche sia necessaria la verifica di assoggettabilità a valutazione di impatto ambientale o la valutazione di impatto ambientale e ove tali modifiche o estensioni comportino una variazione del quadro emissivo odorigeno;
- installazioni soggette ad autorizzazione alla gestione dei rifiuti di cui alla parte quarta, titolo I, capo IV, del D.Lgs.152/2006;
- installazioni/stabilimenti soggetti alle disposizioni di cui all'articolo 269 del D.Lgs.152/2006 in caso di presenza di emissioni odorigene significative;
- installazioni/stabilimenti individuati in esito alle attività di gestione delle segnalazioni di disturbo olfattivo sul territorio;
- installazioni individuate con deliberazione di Giunta regionale.

Il provvedimento normativo fornisce valori di accettabilità dell'impatto olfattivo, espressi come concentrazioni orarie di picco di odore al 98° percentile, da rispettare presso i recettori individuati in funzione delle classi di sensibilità. L'autorità competente, in sede di rilascio del titolo autorizzativo, definisce:

- valori limite di emissione odorigena espressi come concentrazione di odore [ $ou_e/m^3$ ] o portata di odore [ $ou/s$ ] al fine di assicurare che l'impatto olfattivo non ecceda i valori di accettabilità;
- valori limite di emissione espressi in concentrazione ( $mg/Nm^3$ ) di singoli odoranti o di sostanze traccianti non odoranti.

La Legge regionale disciplina anche gli aspetti relativi alla gestione delle segnalazioni di disturbo olfattivo, successivamente definiti dalla D.G.R. 805/2019 "Protocollo Operativo per la gestione delle segnalazioni di disturbo olfattivo".

**REGIONE SARDEGNA**

DELIBERAZIONE N.9/42 del 23/02/2012 "Direttive regionali in tema di autorizzazioni alle emissioni in atmosfera"

Tale documento contiene in particolare gli aspetti amministrativo-procedurali relativi all'istituto dell'autorizzazione alle emissioni in atmosfera (art.269 del D.Lgs. n.152/2006), alle attività in deroga (art.272 del D.Lgs. n.152/2006), alla disciplina autorizzativa degli impianti termici civili, nonché ad alcuni aspetti puramente tecnici.

Le Direttive ricordano che spetta alle Amministrazioni provinciali la funzione in merito al rilascio delle autorizzazioni alle emissioni in atmosfera. Specifico capitolo è dedicato agli impianti compostaggio nel quale si prevede che: *La Provincia, in qualità di autorità competente, in sede di rilascio del provvedimento di autorizzazione alla costruzione e all'esercizio di impianti di compostaggio, dovrà prevedere il rispetto, per quanto concerne le emissioni in atmosfera, per il parametro Concentrazione di odore il valore limite di 300 U.O./m<sup>3</sup>.*

### **REGIONE SICILIA**

La Regione Siciliana, con l'Ordinanza Commissariale 29 maggio 2002, ha emanato le Linee guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio, in cui in allegato trattava "Il problema degli odori negli impianti di compostaggio: natura, sistemi di trattamento, metodi di valutazione". La tabella 2 dell'allegato indicava le concentrazioni di odore rilevate nelle diverse aree di un impianto di compostaggio, in particolare l'aria in uscita da biofiltro (correttamente funzionante) doveva essere < 300 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>.

Successivamente l'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente con Decreto del 24 settembre 2008 ha approvato le nuove Linee guida per il contrasto del fenomeno delle emissioni convogliate, diffuse, e fuggitive di sostanze odorigene nell'ambito della lotta all'inquinamento atmosferico e ha revocato con Decreto del 27 dicembre 2012, il Decreto 16 maggio 2012, visti i diversi ricorsi giurisdizionali innanzi al TAR (Tribunale Amministrativo Regionale) Sicilia, Palermo, proposti dalle Aziende operanti all'interno del territorio.

Infine l'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente con il D.A. del 16/12/2015 "Direttive sui contenuti delle autorizzazioni rilasciate ai sensi della Parte V del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii., in relazione alle competenze che si intestano al sindaco ed all'autorità sanitaria in riferimento alle esigenze di tutela della salute pubblica discendenti dagli artt.216 e 217 del testo unico delle leggi sanitarie approvato con regio Decreto 27 luglio 1934, n.1265 e ss.mm.ii., e all'attuazione delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia di cui al Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n.380", all'art.5 attribuiva ad Arpa Sicilia il compito di *identificare le sostanze caratteristiche e correlabili al ciclo produttivo suscettibili di determinare molestie olfattive e a misurarne le concentrazioni emmissive nelle condizioni di esercizio più gravose, e ad acquisire, sui luoghi in cui si possa manifestare il disturbo, campioni di aria ambiente sui quali ricercare le sostanze presenti nelle emissioni e misurarne la concentrazione.*

### **REGIONE VENETO**

D.G.R. n. 568 del 25/02/2005

Norme tecniche ed indirizzi operativi per la realizzazione e la conduzione degli impianti di recupero e di trattamento delle frazioni organiche dei rifiuti urbani ed altre matrici organiche mediante compostaggio, biostabilizzazione e digestione anaerobica.

Decreto n. 309 del 28/06/2023 del Direttore Generale della DG Valutazioni Ambientali del MASE

Nella seduta del 08/11/2023 del Comitato VIA della regione Veneto è stato formalmente approvato che il Decreto n. 309 del 28 giugno 2023 del Direttore Generale della DG Valutazioni Ambientali del MASE, dal titolo "Indirizzi per l'applicazione dell'articolo 272-bis del D.lgs. 152/2006 in materia di emissioni odorigene di impianti e attività", deve essere utilizzato come "orientamento operativo" per la valutazione dell'impatto odorigeno nelle istruttorie di Valutazione di Impatto Ambientale (<https://www.regione.veneto.it/web/vas-via-vinca-nuvv/strumenti>).

### **REGIONE TOSCANA**

L.R. n.25 del 3 luglio 2024

La Regione Toscana con la L.R. n.25 del 3 luglio 2024, aggiorna la L.R. Toscana n.9 del 11 febbraio 2010 "Norme per la tutela della qualità dell'aria ambiente" prevedendo la limitazione delle emissioni odorigene degli stabilimenti di cui all'articolo 272 bis, comma 1, del D.lgs.152/2006 in conformità alla legislazione nazionale ed europea di riferimento ed in coerenza con gli indirizzi elaborati ai sensi del medesimo articolo 272 bis, comma 2.

## **2.3 TUTELA NORMATIVA INDIRECTA**

### **Art. 844 c.c. e art. 674 c.p.**

Gli approcci generalmente adottati nella giurisprudenza, in maggior misura prima dell'introduzione dell'art.272-bis nel D.Lgs. 152/2006, hanno fatto ricorso alla tutela indiretta della molestia olfattiva, conseguita mediante l'utilizzo di due norme codicistiche, ossia l'art. 844 c.c. e l'art. 674 c.p.

Da un lato, l'art. 844 c.c. - "Immissioni" - in ambito civile, prevede che *"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"*; dall'altro, l'art. 674 c.p. - "Getto pericoloso di cose" - in materia penale,

stabilisce che *"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"*.

In merito alle novità introdotte nel D.Lgs. 152/06 con l'art. 272-bis, c'è da rilevare che lo stesso Decreto prevedeva già autonome sanzioni in caso di inottemperanza (art. 279). Il che non esclude, ovviamente, che sia configurabile, ricorrendone i presupposti, anche il reato di cui all'art. 674, come costantemente affermato dalla giurisprudenza a proposito del possibile concorso di reati tra norme speciali ambientali e c.p. Intanto, l'ambito di applicazione dell'art. 272-bis è limitato ai soli impianti che producono emissioni in atmosfera disciplinati dal Titolo I della Parte Quinta del D.Lgs. 152/06, come confermato da una pronuncia della Corte costituzionale (sentenza n. 178 del 4 giugno 2019).

Inoltre, con la sentenza n. 23582 del 5 agosto 2020, la Suprema Corte ha precisato che, in caso di attività autorizzata svolta in conformità alle prescrizioni, il criterio di riferimento non può che essere quello della "normale tollerabilità", e non quello, più rigoroso, della "stretta tollerabilità" in quanto *"un diverso argomentare.....condurrebbe - in evidente contrasto col principio della residualità della tutela penale rispetto a quella, a contenuto inibitorio e risarcitorio, offerta all'individuo dall'ordinamento di tipo civilistico - a collocare su di un fronte più avanzato la tutela penale in caso di immissioni olfattive rispetto a quella pacificamente apprestata, in sede civile, per siffatto genere di immissioni, la cui illiceità, ai sensi dell'art. 844 cod. civ., laddove non sia posto a repentaglio un valore di rango superiore quale quello del diritto alla salute, è subordinata al criterio della "normale tollerabilità" aggiungendo che "il criterio della "stretta tollerabilità" torna, invece, in giuoco sia nel caso in cui sia in discussione.....una possibile violazione del diritto alla salute dei soggetti che le predette immissioni subiscano, sia nel caso in cui l'agente operi in assenza di qualsivoglia autorizzazione, sempre che la stessa sia comunque richiesta, in quanto il collocarsi dell'attività in discorso al di fuori dei limiti per essa fissati dall'ordinamento, giustifica per la medesima una valutazione di particolare rigore tale da escludere la liceità di alcuna apprezzabile compressione dei diritti dei terzi"*.

In particolare, con la sentenza n. 20204 del 21 maggio 2021, la Suprema Corte ha sancito che *"in caso di emissioni odorigene, la violazione delle misure imposte ai sensi dell'art.272-bis D.Lgs. 152/06 per attività che producono emissioni in atmosfera configura la contravvenzione di cui all'art.279, comma 2 D.Lgs.152/06 se riferita a valori limite di emissione (mentre negli altri casi saranno applicabili le sanzioni amministrative di cui al comma 2-bis del medesimo articolo). Per la violazione delle prescrizioni relative alle emissioni odorigene imposte con l'AIA alle attività ad essa soggette si applicano, invece, le sanzioni di cui all'art. 29-quaterdecies d.lgs. 152/06. E' inoltre possibile il concorso con il reato di cui all'art. 674 cod. pen., stante la diversità delle condotte sanzionate e l'oggetto della tutela, pur dovendosi distinguere, al fine di definire il concetto di "molestia" che integra la contravvenzione, tra attività produttiva svolta in assenza dell'autorizzazione dell'autorità preposta, per la quale il contrasto con gli interessi tutelati va valutato secondo criteri di " stretta tollerabilità " e quella esercitata in conformità all'autorizzazione e senza superamento dei limiti consentiti, per la quale si deve far riferimento alla " normale tollerabilità " delle persone, che si ricava dall'art. 844 cod. civ. e che ricorre sempre che l'azienda abbia adottato gli accorgimenti tecnici ragionevolmente utilizzabili per abbattere l'impatto delle emissioni"*.

I giudici si sono espressi anche sulla natura ed efficacia giuridica delle regolamentazioni regionali sugli impatti odorigeni. Sul punto si segnalano la sentenza TAR Umbria, Sez. I, del 04/05/2022, n. 262, che analizza i presupposti delle ordinanze sindacali contingibili e urgenti sugli odori, e le sentenze TAR Lombardia, Milano, Sez. III, del 13/12/2021, nn. 2790, 2791 e 2792, che si esprimono sulla corretta valutazione della relazione di impatto odorigeno nell'istruttoria di autorizzazione, evidenziando la regola interpretativa secondo la quale il giudice amministrativo non può sindacare atti di discrezionalità tecnica salvo che questi siano manifestamente erronei, illogici o contraddittori.

Si segnalano, infine, le sentenze TAR FVG, Sez. I, del 26/04/2024, nn. 141 e 142, sulla correttezza dell'istruttoria tecnica a supporto della valutazione degli impatti odorigeni in fase autorizzativa, fondata su linee guida ARPA, con indicazioni conformi alle disposizioni recepite dal D.D. del MASE del 28/06/2023, n.309.



### 3. ANALISI DELLE METODOLOGIE DI MONITORAGGIO E CONTROLLO DELLE EMISSIONI ODORIGENE

Il riconoscimento dell'odore, quale parametro ambientale oggetto di misurazione, pone elementi di complessità relativamente alla modalità di determinazione e, conseguentemente, alle informazioni necessarie per una compiuta comprensione dei fenomeni ad esso correlati. Per tale motivo, non è identificabile un metodo esaustivo per la misurazione degli odori ma è necessario ricorrere ad un'integrazione di indagini e di tecniche, tra loro complementari.

In generale, le metodologie per il monitoraggio ed il controllo delle emissioni odorogene possono essere raggruppate in funzione delle loro principali finalità:

- 1) metodologie finalizzate a caratterizzare le fonti di odore: rientrano in questa categoria i metodi e le indagini volte, all'interno di contesti produttivi, all'identificazione dei cicli lavorativi e delle sorgenti emissive di maggiore interesse olfattometrico e/o chimico;
- 2) metodologie finalizzate a valutare la risposta e l'esposizione della popolazione: rientrano in questa categoria i metodi e le indagini volti alla valutazione delle segnalazioni e dei reclami, per la ricerca di attendibili correlazioni con le attività presenti sul territorio e la determinazione dell'estensione geografica e/o temporale della problematica denunciata.

Di seguito sono elencate le principali modalità impiegate, di cui si riporta un dettaglio nei paragrafi successivi.

- ❖ **Caratterizzazione chimica qualitativa e quantitativa, finalizzata alla determinazione della composizione della miscela di sostanze che determinano l'odore.** L'analisi chimica fornisce una conoscenza quali/quantitativa dei composti di maggior interesse presenti nella miscela gassosa ma non consente, di norma, precise considerazioni sull'impatto odorigeno: difficilmente i risultati delle analisi possono essere tradotti in termini di intensità dell'odore, gradevolezza, ecc... Le analisi chimiche vengono eseguite generalmente focalizzando l'attenzione sulle categorie di composti di interesse ambientale e sanitario caratterizzate da bassa soglia olfattiva che, in base alle conoscenze sui cicli produttivi e sulle attività antropiche che caratterizzano le zone interessate al problema, possono essere presenti. In funzione delle informazioni a disposizione, quindi, vengono scelte le tecniche di campionamento e di analisi più adeguate per la determinazione dei composti individuati.
- ❖ **Analisi in olfattometria dinamica secondo la norma UNI EN 13725.** L'olfattometria dinamica è una tecnica sensoriale attraverso cui il campione odorigeno, diluito con aria inodore, viene presentato a un gruppo di analisti selezionati (panel) allo scopo di registrare la percezione di odore risultante: tale misura ha principalmente l'obiettivo di determinare la concentrazione di odore con l'ausilio dell'olfatto umano come sensore. Contrariamente all'analisi chimica, quella olfattometrica non fornisce informazioni sull'identificazione di una sostanza o di un gruppo di sostanze bensì permette di determinare le "unità di odore" della miscela gassosa. In tale modo è, dunque, possibile esprimere, in termini quantitativi, una sensazione realizzando così un metodo per misurare oggettivamente, per quanto tecnicamente possibile, la reale intensità della sorgente olfattiva. Tramite l'elaborazione delle risposte del panel è possibile stimare il numero di diluizioni necessarie affinché l'odore non venga più percepito e calcolare la concentrazione del campione in esame, in unità di odore al metro cubo, del campione in esame ( $uo_E/m^3$ ). 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 (che corrisponde alla soglia olfattiva), avrà una concentrazione di odore pari a  $500\ uo_E/m^3$ .
- ❖ **Rendicontazione della percezione del disturbo olfattivo da parte della popolazione residente.** Generalmente le indagini possono avvenire attraverso:
  - ✓ il monitoraggio sistematico del disturbo olfattivo mediante utilizzo di questionari da compilare in giorni e ore prestabilite da parte di un campione predeterminato di popolazione residente o di un gruppo di volontari, eventualmente addestrati per valutare l'odore percepito presso le loro abitazioni, durante le ore del giorno, in giornate lavorative e festive;
  - ✓ il monitoraggio in campo tramite un panel di esaminatori qualificati mediante le tecniche della "field inspection";
  - ✓ rilevazione ed analisi delle segnalazioni di percezione di odore comunicate dalla popolazione residente.

Di norma, tali indagini vengono abbinare alle rilevazioni dei principali parametri meteorologici che influenzano la propagazione degli odori (direzione e velocità del vento) al fine di validare e contestualizzare le informazioni ottenute.

- ❖ **Metodologie strumentali o IOMS (Instrumental Odour Monitoring System).** Tali dispositivi sono potenzialmente in grado di simulare il processo di memorizzazione e riconoscimento, tipici del sistema olfattivo umano. L'abbinamento di un sistema olfattivo elettronico alle precedenti tecniche di indagine, ancorché da ottimizzare per le specifiche situazioni, può rappresentare il naturale completamento dei rilievi possibili in merito a problematiche di odore. Gli obiettivi nell'utilizzo di tali sistemi sono solitamente: discriminare la sorgente di emissione dell'odore e quantificarne l'intensità in termini temporali e fornire una quantificazione delle emissioni odorogene, in termini di unità odorimetriche.
- ❖ **Monitoraggio di parametri surrogati.** L'uso di parametri surrogati può essere considerato un approccio efficace nei casi in cui sia possibile evidenziare sostanze chimiche odorogene (ad esempio idrogeno solforato o ammoniaca) o non odorogene (ad esempio metano da discariche) che possano essere considerate "traccianti" nell'ambito della miscela odorigena associata all'emissione oggetto di valutazione. Affinché possa essere identificato un parametro surrogato dell'odore, è necessario che il rapporto tra la concentrazione del parametro surrogato e la concentrazione odorigena sia relativamente costante e conosciuto. Tale relazione dovrà, quindi, essere supportata da uno specifico studio di comparazione. Di seguito, a titolo esemplificativo, è presentato un elenco non esaustivo di sistemi di monitoraggio in continuo, che possono essere utilizzati per seguire l'andamento di parametri surrogati da correlare alle concentrazioni di odore (UK Environment Agency, 2011):
  - a) Strumenti non specifici (rivelatori a ionizzazione di fiamma [FID] o a fotoionizzazione [PID], per la determinazione dei composti organici totali o degli NMHC;
  - b) Analizzatori di H<sub>2</sub>S a celle elettrochimiche o Gold Foil Instruments;
  - c) Analizzatori di NH<sub>3</sub> a chemiluminescenza o celle elettrochimiche
  - d) Gascromatografi da campo per la determinazione di mercaptani o altre sostanze;
  - e) Sistemi di monitoraggio long path-length (es. LIDAR).

L'individuazione di una corretta strategia di indagine prevede generalmente l'effettuazione di valutazioni preliminari relative al contesto territoriale in cui si manifesta il disturbo olfattivo allo scopo di circoscrivere il campo di azione a cicli produttivi o attività che costituiranno, di fatto, l'oggetto principale dei monitoraggi. Le valutazioni preliminari e la conseguente corretta progettazione di un piano di monitoraggio delle emissioni odorogene consentono di stabilire dove e su cosa focalizzare l'attenzione per acquisire quelle informazioni fondamentali ad individuare le criticità esistenti e le possibili soluzioni. È fondamentale, fin dalle prime fasi di impostazione del monitoraggio, avere ben presente le finalità specifiche delle indagini e le questioni a cui dare risposta. Ad esempio, il piano di monitoraggio delle emissioni odorogene può essere finalizzato a:

- individuare geograficamente la provenienza dell'odore;
- individuare le aree produttive e gli specifici cicli produttivi di potenziale interesse olfattivo;
- individuare le aree di possibile impatto degli odori;
- discriminare il contributo delle diverse sorgenti di odore individuate;
- quantificare la frequenza e la durata degli eventi odorogeni;
- correlare gli eventi odorogeni alla presenza di determinate sostanze chimiche aerodisperse;
- correlare gli eventi odorogeni all'attivazione di determinati cicli produttivi o all'uso di determinate materie prime;
- stimare i livelli massimi di accettabilità delle emissioni odorogene, al fine di limitare gli eventi di maleodorazione.

Non è sempre necessario attivare tutte le tipologie di indagine potenzialmente utilizzabili ma, invece, è sempre necessario avere ben chiaro l'obiettivo del monitoraggio per poter scegliere, di volta in volta, gli strumenti più adatti alle risposte che si vogliono ottenere. Per la buona riuscita dei monitoraggi è fondamentale il coinvolgimento collaborativo di tutti i soggetti interessati, a partire dalle amministrazioni locali, fino ai comitati dei cittadini e alle ditte potenzialmente interessate.

### 3.1. PRELIEVO E GESTIONE DEI CAMPIONI GASSOSI ODORIGENI

I risultati del piano di misurazione delle emissioni odorogene e l'applicazione corretta di molte delle tecniche di indagine che possono essere attivate (olfattometria, analisi chimica, naso elettronico, altri metodi strumentali), non possono prescindere da un'adeguata fase di campionamento sia delle diverse sorgenti di odore di interesse specifico, sia di eventuali campioni ambientali. Pertanto, il campionamento è un elemento di fondamentale importanza: la qualità del dato analitico e la valutazione dei conseguenti risultati dipendono, infatti, dalla rappresentatività del campione prelevato. Lo scopo principale del campionamento è fondamentalmente quello di ottenere frazioni volumetriche di campioni gassosi rappresentative del contesto che si vuole caratterizzare (tipicamente la sorgente

o l'aria ambiente) e delle condizioni emissive di cui si vuole avere specifico riscontro (ad esempio, informazioni sui livelli massimi e minimi piuttosto che sul livello emissivo medio, il che presuppone campionamenti su basi temporali diverse, che possono estendersi da pochi minuti fino alla semi-ora o all'ora ed anche oltre).

La fase di campionamento vera e propria dovrebbe essere sempre preceduta da una serie di attività propedeutiche, necessarie alla corretta impostazione del monitoraggio da realizzare, tra le quali:

- l'acquisizione di sufficienti informazioni sul contesto territoriale in cui si manifestano le problematiche di odore, sulle attività produttive e sulle emissioni di potenziale interesse (individuazione delle sorgenti odorigene principali);
- la conoscenza preliminare generale della composizione chimica delle emissioni odorigene e l'acquisizione di informazioni circa l'eventuale presenza di composti tossici. Tale informazione, nel caso siano da realizzare analisi olfattometriche, è importante sia per l'operatore che effettua il prelievo sia per gli esaminatori addetti all'analisi (panel);
- l'individuazione dei punti di campionamento e la valutazione delle loro caratteristiche, anche in relazione alla possibilità oggettiva di effettuare correttamente i prelievi; potrebbe essere necessaria l'installazione di presidi specifici per facilitare o rendere possibile le operazioni di campionamento, soprattutto nel caso di sorgenti emissive convogliate (ad esempio: realizzazione di bocchettoni di prelievo, scale, ecc.). L'operatore addetto al campionamento, infatti, deve poter svolgere le attività in sicurezza, pertanto il punto di prelievo deve essere facilmente raggiungibile e soddisfare i requisiti relativi alle norme di sicurezza sul lavoro. Utili informazioni in proposito si possono reperire nelle seguenti norme tecniche applicabili ai campionamenti alle emissioni: UNI EN 15259 e UNI EN ISO 16911-1, nonché nella norma tecnica relativa all'olfattometria dinamica, UNI EN 13725.

Per i motivi appena esposti, risulta opportuno pianificare sopralluoghi preventivi, non solo nelle aree di ricaduta degli odori ma anche presso gli stabilimenti e gli impianti di interesse ed annotare le possibili sorgenti, i punti di emissione e le zone scelte per effettuare i prelievi, indicando le relative modalità di campionamento ipotizzabili sulla base delle informazioni a disposizione e dei riscontri ottenuti in campo.

Nel progettare la corretta metodologia di campionamento di una sorgente odorigena è, inoltre, necessario acquisire informazioni utili a definire adeguatamente i parametri che caratterizzano l'emissione della sorgente stessa (par.9.1.6 della norma tecnica UNI EN 13725), ovvero:

- la configurazione geometrica della sorgente e le modalità di trasferimento delle sostanze odorigene dalla sorgente all'atmosfera (valutare la tipologia di emissione: convogliata, areale attiva, areale passiva, ecc.);
- la durata della emissione (valutare se continua, discontinua, a cicli alternati, ecc.);
- il ciclo produttivo che genera l'emissione, in modo da fare una prima valutazione sul fatto che la si possa ritenere ragionevolmente costante ed omogenea nel tempo oppure variabile (con riferimento sia alla portata volumetrica, nel caso di emissioni convogliate o sorgenti areali attive, sia alle caratteristiche quali/quantitative chimiche e odorigene).

I campionamenti devono essere effettuati, di norma, in condizioni di ordinaria attività, con impianti funzionanti a regime. Appare, in tal senso, opportuno valutare la possibile variabilità dell'emissione. Infatti, qualora le attività e gli impianti da caratterizzare presentino condizioni di funzionamento significativamente variabili, si valuterà, in funzione delle finalità delle indagini, l'opportunità di eseguire diversi campionamenti per ognuna delle diverse condizioni ipotizzate, sulla base delle informazioni preliminari acquisite, e stimare contestualmente l'entità del range di variabilità. Si dovrà, perciò, stabilire preventivamente se i campionamenti da effettuare debbano essere rappresentativi di una condizione emissiva "media" oppure di una condizione emissiva "estrema" (condizione cautelativa), anche se di breve durata, o se debbano dare riscontro di entrambe le situazioni e dei livelli di variabilità. A tale proposito, un utile ausilio alla progettazione delle indagini è costituito da alcuni documenti operativi di riferimento per le attività di campionamento e misura alle emissioni convogliate, tra cui il Manuale UNICHIM 158/1988 e il rapporto ISTISAN 91/41, nei quali vengono descritte le casistiche emissive inquadrabili come costante, continua, variabile, intermittente, ecc... In sede operativa è buona norma verificare quanto ipotizzato preventivamente in riferimento alla possibile variabilità dell'emissione, eseguendo preliminarmente e/o contestualmente ai campionamenti, anche la misura diretta e continuativa di COT (Carbonio Organico volatile Totale) con strumentazioni in continuo (FID, PID o altro) per un tempo adeguato: questa modalità operativa appare la più completa e corretta per garantire l'esecuzione di campionamenti rappresentativi delle condizioni emissive da caratterizzare.

Una corretta durata e numerosità dei campionamenti, e quindi anche del periodo temporale di rappresentatività del campione, è fondamentale anche in funzione di eventuali utilizzi del dato olfattometrico come input a modelli matematici di ricaduta che, tipicamente, utilizzano input meteorologici su base oraria e che restituiscono, perciò, stime mediate sulla medesima base temporale. Un adeguato set di dati olfattometrici rappresentativi della variabilità delle emissioni, consentirà di stabilire, in funzione degli scopi della modellizzazione, se utilizzare cautelativamente un dato emissivo estremo, anche se magari di durata pari a pochi minuti, oppure un dato mediato su base temporale più ampia, descrittivo di una condizione media più omogenea rispetto al set di dati meteorologici.

### 3.1.1. Metodologie e supporti di campionamento

I campioni gassosi da avviare ad analisi olfattometriche, analisi chimiche o di caratterizzazione con sistemi IOMS o altri metodi strumentali possono essere raccolti con modalità diverse, su diversi supporti, in funzione della metodologia utilizzata per l'analisi.

I campionamenti olfattometrici, descritti nella norma UNI EN 13725, sono basati sul trasferimento, all'interno di sacchetti (bags) di materiale polimerico inerte ed in condizioni controllate, di una porzione rappresentativa del campione gassoso da sottoporre ad indagine, analizzato senza alcun pretrattamento, salvo eventuale pre-diluizione. Il metodo di raccolta in bags si basa sull'utilizzo di pompe a depressione che lavorano in base al "principio del polmone"; il sacchetto è posizionato all'interno di contenitori rigidi evacuati usando una pompa da vuoto ed il campione viene richiamato all'interno del sacchetto per effetto della depressione generata. Tale modalità evita che vi siano rischi di contaminazione, in quanto non vi è contatto diretto tra la pompa e il campione. I campioni raccolti in bags possono essere utilizzati sia per l'olfattometria dinamica, sia per essere sottoposti ad analisi chimiche o altri metodi strumentali, secondo le specifiche metodiche di interesse, o all'analisi mediante IOMS. I campioni gassosi così ottenuti, infatti, possono essere somministrati ad analizzatori automatici, in grado di restituire un dato analitico in tempo reale, oppure essere oggetto di trasferimento su supporti specifici di campionamento, adeguati alle specifiche metodiche di indagine chimica, da eseguire in laboratorio in condizioni controllate. Il rilevante vantaggio di quest'ultima possibilità applicativa risiede nel fatto che, data la durata generalmente breve di raccolta del campione olfattometrico (solitamente pochi minuti per raccogliere consistenti quantitativi di aria o emissione), l'analisi successiva può essere rappresentativa di situazioni emissive estreme o di momenti di percezione acuti; i classici campionamenti effettuati in campo, diversamente (e soprattutto per le analisi chimiche), richiedono spesso tempi prolungati non compatibili con la breve durata di alcuni eventi acuti.

I campionamenti finalizzati alla caratterizzazione chimica di sorgenti emissive o aria ambiente, descritti in numerose metodologie di campionamento ed analisi emanate da enti di normazione o descritti in norme legislative o sviluppate da enti di ricerca e pubblicate in bibliografia, sono generalmente basati sul trasferimento di uno o più inquinanti su un substrato che "fissa" l'inquinante stesso e ne consente il trasferimento, in condizioni controllate, al laboratorio di analisi. Di fatto, questa modalità di campionamento deve essere preceduta da una attenta valutazione delle sorgenti e del contesto ambientale, per identificare gli inquinanti di potenziale interesse e, di conseguenza, individuare le metodologie di prelievo ed analisi chimica più indicate.

I campionamenti per la caratterizzazione chimica possono essere condotti con modalità "attiva" o "passiva". Il campionamento con modalità "attiva" è applicato sia per sorgenti emissive sia per aria ambiente: consiste nel prelevare, con pompa di campionamento, una porzione rappresentativa di campione gassoso, forzandolo all'intimo contatto con il substrato idoneo a fissare gli inquinanti di interesse. Il campionamento con modalità "passiva", invece, è applicato per campionamenti ambientali: viene effettuato con dispositivi che non necessitano di pompe di aspirazione, nei quali il substrato di campionamento entra in contatto con gli inquinanti in base al fenomeno della diffusione, regolato da precise leggi fisiche.

I principi chimico/fisici più diffusi, in base ai quali i diversi substrati di campionamento sono in grado di fissare gli inquinanti, si possono riassumere in:

- *adsorbimento*: capacità di alcuni substrati, quali ad esempio carbone attivo, tenax, XAD-2 e altri polimeri, di fissare i composti gassosi mediante interazioni di tipo fisico, reversibili in specifiche condizioni analitiche;
- *chemiadsorbimento*: in questi casi il substrato è rivestito da reagenti specifici per determinate categorie di inquinanti; i composti da determinare sono trasformati in specie chimiche non volatili che vengono adsorbite sul substrato per poi essere determinate analiticamente;
- *assorbimento*: in questo caso il substrato è una soluzione generalmente acquosa che fissa gli inquinanti di interesse attraverso processi di solubilizzazione, reazione acido-base o reazioni di ossido-riduzione.

I volumi di campione gassoso che devono essere campionati per una efficace caratterizzazione chimica delle sorgenti emissive o di aria ambiente, dipendono dal livello di concentrazione nel gas degli inquinanti di interesse e dal livello prestazionale (limite di rilevabilità) della tecnica analitica applicabile. Tanto più ridotte sono le concentrazioni delle sostanze di interesse ipotizzate nei campioni gassosi, tanto più elevati saranno i volumi di aeriforme da campionare, in funzione della sensibilità analitica delle metodiche applicabili. Si consideri, inoltre, che la velocità di campionamento dell'aeriforme di interesse è anche funzione del substrato utilizzato, che non sempre consente elevati flussi di campionamento e, di conseguenza, determina spesso tempi di campionamento lunghi e non sempre adeguati a rappresentare brevi fenomeni odorigeni. Un valido supporto in tal senso, come accennato in precedenza, risulta essere la possibilità di effettuare campionamenti olfattometrici (che si possono realizzare prelevando in pochi minuti consistenti volumi di aeriforme in sacche facilmente trasportabili) da utilizzare per l'applicazione di specifiche metodiche analitiche di interesse.

Una particolare tipologia di campionamento ambientale, finalizzato esclusivamente alla caratterizzazione chimica, nel quale il campione gassoso viene prelevato e trasferito all'interno di contenitori inerti (analogamente a quanto avviene nei campionamenti olfattometrici) consiste nell'utilizzo di "canister". I canister sono contenitori in acciaio di diverso volume (solitamente da 0,5 litri a 15 litri di capienza), la cui superficie interna è sottoposta a trattamento inertizzante per prevenire la possibile degradazione dei composti

gassosi campionati e che, preliminarmente ad ogni utilizzo, devono essere decontaminati facendo uso di azoto o di aria ultrapura con cicli di pressurizzazione e successivo svuotamento. Il campionamento si esegue ponendo il dispositivo, in condizione di sottovuoto, nell'ambiente di cui si vuole captare l'aeriforme ed attivando l'apposita valvola regolatrice di flusso di cui dispone il canister. In funzione del volume del canister e della valvola di regolazione, possono realizzarsi campionamenti di pochi minuti o mediati su tempi più lunghi, che possono arrivare anche alle 24 ore e oltre. Le successive analisi richiedono specifici dispositivi per interfacciare il canister con la linea strumentale di analisi.

Le caratteristiche dei supporti di campionamento sono generalmente riportate nelle norme tecniche che descrivono le singole metodiche di campionamento e analisi. In particolare, specificatamente per i monitoraggi di tipo chimico che si sviluppano attraverso una fase di campionamento riferito a uno o più composti o famiglie di composti, seguita successivamente dall'analisi di laboratorio, le tipologie di supporti possono variare da materiali solidi quali polimeri, carbone attivo, resine, gel di silice, ecc... (con o senza rivestimento di reagenti), fino a soluzioni liquide acquose di diverso tipo.

I materiali da utilizzare, invece, per il prelievo dei campioni gassosi da destinare alle analisi olfattometriche sono descritti nella norma UNI EN 13725. In particolare, i materiali devono soddisfare i seguenti criteri:

- essere "inerti", cioè in grado di minimizzare le interazioni con l'aeriforme da campionare.
- possedere superficie liscia;
- possedere neutralità odorigena (assenza di odore proprio);
- avere caratteristiche di tenuta adeguate; al fine di evitare alterazioni, perdite di campione o diluizione dello stesso con ingresso di aria dall'esterno, è importante che i materiali siano caratterizzati da bassa permeabilità.

I materiali più utilizzati sono costituiti da polimeri quali Politetrafluoroetilene (PTFE, Teflon) per tubi di raccordo e connessioni e Polietilentereftalato (PET, Nalophan™) per le sacche da campionamento.

Nei casi in cui si debbano prelevare campioni gassosi da sorgenti emissive con temperature non compatibili con i materiali di campionamento o con contenuto di umidità tale da generare la formazione di condense all'interno del campione stesso, con conseguente rischio di alterazione delle caratteristiche originali e di possibili fenomeni di adsorbimento, la norma prevede che venga effettuata la prediluizione del campione gassoso. Poiché la prediluizione del campione comporta l'utilizzo di dispositivi accessori specifici da impiegare in campo, è opportuno, quando possibile, valutare la necessità di operare in tal senso già in fase di progettazione dei campionamenti. Il fattore di prediluizione da realizzare durante le fasi di campionamento del gas deve essere tale da impedire il raggiungimento del punto di rugiada dell'aeriforme durante il campionamento stesso, fino alle successive analisi; pertanto, è importante considerare anche le eventuali basse temperature ambientali esterne o di stoccaggio (formule o diagrammi di stato che consentano di ipotizzare fattori di diluizione adeguati possono essere riportati su handbook o manuali specifici).

La prediluizione deve essere effettuata in campo utilizzando azoto inerte o aria sintetica. Operativamente, si ritiene necessario prediluire il campione gassoso in fase di campionamento nei casi in cui possa verificarsi formazione di condensa nel sacchetto di campionamento, ad esempio quando l'aeriforme da campionare abbia umidità relativa superiore al 90% o temperatura superiore a 50°C. La prediluizione può essere effettuata anche su campioni per i quali è ipotizzabile una concentrazione molto elevata, soprattutto nel caso di analisi mediante olfattometria dinamica; in quest'ultimo caso, se il campione non presenta rischi di condensa, la prediluizione può essere operata anche in laboratorio. È inoltre opportuno operare una prediluizione qualora si vogliano ritardare i processi di ossidazione delle sostanze da campionare riducendo la quantità di ossigeno all'interno del sacchetto; in questo caso, si utilizzerà rigorosamente azoto, quale gas di diluizione.

Per i prelievi finalizzati alla caratterizzazione chimica, che si realizzano attraverso una fase di campionamento riferito a uno o più composti o famiglie di composti, nelle singole metodiche di campionamento e analisi possono essere descritte specifiche procedure da applicare in caso di emissioni calde, umide o a concentrazione elevata.

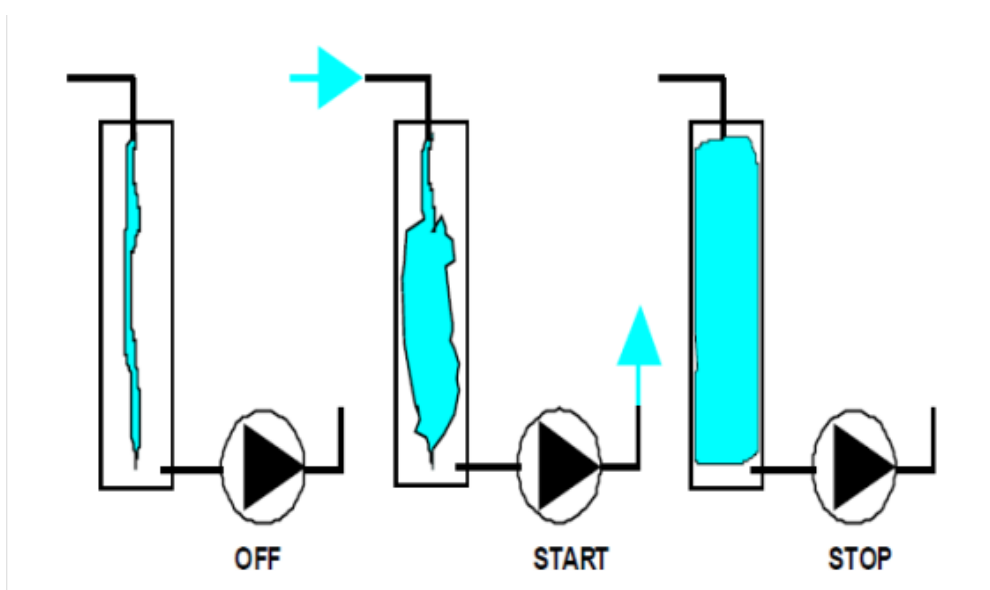
### 3.1.2. Il campionamento olfattometrico: sorgenti odorigene e campionamenti ambientali

Obiettivo del campionamento olfattometrico è quello di ottenere una frazione volumetrica del campione gassoso rappresentativa delle caratteristiche della sorgente emissiva o dell'aria ambiente. È opportuno sottolineare che, nel caso di campionamento di sorgenti emissive, la sola concentrazione di odore non è sufficiente per realizzare una valutazione esaustiva di un'emissione odorigena ma è necessario tener conto anche della portata gassosa associata alla sorgente stessa; la combinazione delle due grandezze determina la portata di odore (OER – Odour Emission Rate) espressa in unità odorimetriche al secondo (ouE/s). La concentrazione di odore e la portata di odore, rappresentano le grandezze principali che descrivono la sorgente emissiva e sono fondamentali qualora si debba stimare l'impatto olfattivo di una sorgente con l'applicazione di modelli matematici di ricaduta. In generale, possono essere individuate alcune principali tipologie di sorgente odorigena e, conseguentemente, possono essere fornite indicazioni operative specifiche in merito alle strategie di campionamento (dettagli ulteriori in merito sono riportati al paragrafo 3.3). Si precisa che i contenuti del presente documento richiamano quanto riportato in materia da Norme tecniche e/o Linee guida, pertanto, laddove per alcune tipologie di sorgente non vi sia un accordo univoco sulle specifiche modalità operative di campionamento, potrebbe essere necessaria

l'applicazione di particolari accorgimenti per la pianificazione di un campionamento rappresentativo; per tali casi si rimanda ad approfondimenti successivi.

- a) Sorgenti Puntuali. Sono definite tali quelle sorgenti fisse discrete che rilasciano gas di scarico in atmosfera attraverso condotti di forme definite, con una portata volumetrica controllata o controllabile (UNI EN 13725). Il prelievo di campioni gassosi da tali sorgenti emissive, consiste nell'estrazione dal condotto di una parte di effluente convogliato che viene poi trasferito tal quale (o prediluito, se necessario) all'interno dello specifico dispositivo di campionamento costituito da pompa a depressione e bags di materiale inerte. Tramite la pompa a depressione, nella quale è posto il sacchetto di campionamento di materiale inerte, l'aeriforme è richiamato direttamente nel sacchetto senza entrare in contatto né con la pompa né con altri materiali che potrebbero alterarne le caratteristiche (Figura 3.1).

Figura 3.1: Rappresentazione del principio di funzionamento della pompa a depressione



Nel caso di emissioni convogliate, per il calcolo della portata volumetrica (UNI EN 16911), necessaria per la corretta espressione della portata di odore, è opportuno realizzare il prelievo nel punto di accesso ritenuto adeguato per la misura di portata stessa, affinché si abbia la massima rappresentatività del campione prelevato.

Prima della misurazione, deve essere redatto un piano di misurazione secondo la UNI EN 15259 che tenga conto delle probabili fluttuazioni nel tempo dell'emissione di odoranti.

I sacchetti di campionamento devono essere condizionati prima del prelievo, in conformità alla norma UNI EN 13725. A tale scopo, essi vengono riempiti con l'aeriforme da campionare riempiendo almeno una volta un volume di campione pari al 10%-20% del suo volume totale e svuotandolo nuovamente, oppure facendovi fluire il campione per un periodo di tempo adeguato (a seconda della capacità del sacchetto). Nei casi in cui l'aeriforme da prelevare venga espulso in pressione, il campionamento può avvenire in maniera diretta introducendo una linea di campionamento collegata al sacchetto mediante raccordi a tenuta; a causa della sovrappressione, l'effluente gassoso transiterà spontaneamente nel sacchetto di campionamento. Per quanto riguarda la durata dei campionamenti, devono essere considerate le caratteristiche della sorgente, in termini di valutazione delle fluttuazioni della portata odorigena. In generale, sulla base delle informazioni a disposizione, acquisite sia in fase di pianificazione delle attività sia da precedenti verifiche, è possibile distinguere due principali situazioni:

- emissioni che si possono ritenere caratterizzate da livelli emissivi ragionevolmente costanti sia in termini di portata emissiva ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ ), sia in termini di caratteristiche chimiche quali/quantitative e, di conseguenza, anche in termini di emissioni odorogene;
- emissioni che non possono ritenersi caratterizzate da livelli emissivi ragionevolmente costanti e pertanto devono essere caratterizzate mediante il campionamento di più porzioni gassose, ognuna delle quali rappresentativa di

una diversa condizione emissiva di interesse e possibilmente effettuate in corrispondenza del momento più critico dal punto di vista delle emissioni odorigene.

In fase operativa è comunque opportuno verificare “in campo” la variabilità della emissione, eseguendo misure dirette e continuative di COT (Carbonio Organico volatile Totale) con strumentazioni in continuo (FID, PID o altro), in modo da garantire campionamenti rappresentativi delle condizioni emissive che si vogliono caratterizzare.

Poiché i dispositivi di campionamento con pompa a depressione realizzano il riempimento di un sacchetto campione in un limitato periodo di tempo, generalmente pochi minuti, possono essere fornite indicazioni operative diverse in funzione delle caratteristiche della emissione e degli obiettivi programmati (MASE 2023):

- Nel caso di emissioni continue in termini di portata emissiva e costanti in termini di caratteristiche chimiche quali/quantitative e quindi, presumibilmente costanti anche in termini di emissioni odorigene, ogni porzione di gas campione da sottoporre ad analisi deve essere ottenuta nell'arco della giornata mediante almeno 3 singoli campionamenti in un intervallo temporale rappresentativo di almeno 30 minuti; in alternativa, possono essere utilizzate pompe a depressione che, attraverso specifici dispositivi (temporizzatori, riduzione della depressione realizzata, ecc.), consentano il riempimento di un unico sacchetto nello stesso intervallo temporale;
- Nel caso di emissioni continue in termini di portata emissiva ma variabili in termini di caratteristiche chimiche quali/quantitative e quindi, presumibilmente variabili anche in termini di emissioni odorigene, potrà essere eseguito 1 solo campionamento, cercando di individuare il momento emissivo più critico, qualora interessi caratterizzare solo la condizione estrema. Qualora interessi valutare anche la variabilità dell'emissione, dovranno essere effettuati molteplici singoli campionamenti, in numero sufficiente per caratterizzare correttamente i diversi livelli emissivi, in un adeguato intervallo temporale da stabilire, volta per volta, in funzione delle specifiche caratteristiche della sorgente; i campionamenti dovranno essere analizzati singolarmente.

Nel caso di emissioni caratterizzate da ben definite fasi produttive alle quali sono associabili caratteristiche emissive ben distinte, le modalità di campionamento descritte ai punti precedenti saranno da realizzare per ognuna delle fasi di interesse. Nel caso in cui si vogliano mettere in evidenza esclusivamente i livelli emissivi massimi generati da una specifica attività, seppur associabili a brevi periodi di tempo, è possibile focalizzare l'attività di campionamento nella fase ritenuta più critica, fermo restando la necessità di individuarla con sufficiente attendibilità sulla base delle informazioni a disposizione.

#### b) Sorgenti Areali

Le sorgenti areali sono emissioni che provengono da superfici solide o liquide, con estensione significativa. Tipicamente le sorgenti areali si distinguono in:

- attive: sorgenti con portata volumetrica definita (è il caso principalmente dei biofiltri aperti);
- passive: sorgenti che non hanno una portata volumetrica controllata o controllabile (es. cumuli di materiale non areato, discariche, vasche...). L'unico flusso presente è quello dovuto al trasferimento di massa delle sostanze gassose odorigene dalla superficie della sorgente all'aria sovrastante.

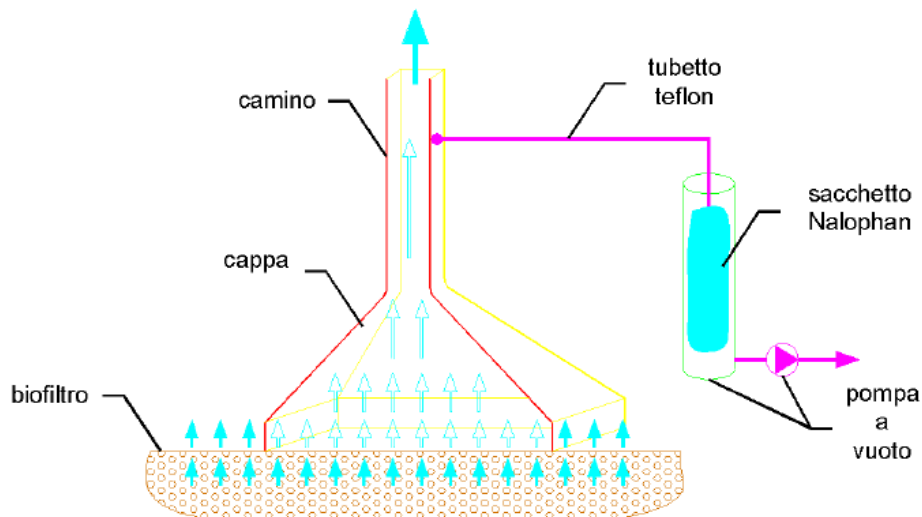
Il limite fra sorgenti areali attive e passive è fissato, secondo la norma tecnica UNI EN 13725, in considerazione di una velocità di uscita pari a 0.008 m/s; nello specifico, sono definite sorgenti areali attive quelle per cui la velocità di uscita risulta maggiore del valore indicato e passive quelle per cui si riscontra un valore inferiore.

Le sorgenti areali attive possono essere considerate al pari di sorgenti puntuali in cui, però, la sezione di emissione è estremamente più estesa e, pertanto, il campione gassoso può essere ottenuto secondo tre modalità, così come definite dalla norma tecnica UNI EN 13725:

- 1) attraverso la copertura totale della sorgente areale;
- 2) attraverso la copertura di superfici parziali selezionate;
- 3) attraverso il campionamento puntuale delle aree parziali.

Generalmente, il procedimento di copertura parziale è maggiormente impiegato mediante l'impiego di una cappa “statica” (Figura 3.2) che permette di isolare una determinata porzione di superficie, convogliando il flusso in un apposito condotto d'uscita ed evitando, in particolare, che l'atmosfera ed il vento possano diluire il gas emesso prima che venga catturato nel sacchetto. Dal camino della cappa si preleva il campione con le stesse modalità adottate per le sorgenti puntuali. Sul condotto d'uscita della cappa è predisposta un'apertura sia per consentire il prelievo, sia per effettuare le misurazioni dei principali parametri fisici che caratterizzano le condizioni fluidodinamiche della porzione di superficie isolata (temperatura, umidità, velocità dell'aria, portata volumetrica, ecc...).

Figura 3.2: Schema di funzionamento della cappa statica



Quando si opera secondo tale modalità, per esempio nel caso dei biofiltri, i campionamenti devono essere effettuati in diversi punti distribuiti uniformemente sull'intera superficie, così da ottenere dati rappresentativi della sorgente. Preliminarmente al campionamento, è obbligatoria la misurazione dei principali parametri fisici che caratterizzano ciascuna porzione di superficie isolata dalla cappa statica; in particolare, è necessario effettuare una mappatura delle velocità di emissione, al fine di verificare l'omogeneità del flusso o la eventuale presenza di flussi preferenziali (UNI EN 13725). Sulla base di tale mappatura, possono essere distinti 2 casi:

- sorgenti areali attive con flusso omogeneo (le velocità misurate in vari punti della superficie differiscono al massimo di un fattore 2);
- sorgenti areali con flusso non omogeneo (le velocità misurate in vari punti della superficie differiscono di un fattore superiore a 2).

La superficie del biofiltro deve essere idealmente suddivisa in una griglia, costituita da sub-aree equivalenti, in cui realizzare la mappatura delle caratteristiche fluidodinamiche e i successivi campionamenti mediante l'ausilio della cappa. Il numero di sub-aree da campionare viene indicato in maniera puntuale dalla norma tecnica UNI EN 13725. Dal punto di vista operativo, si riporta, quale criterio consolidato, definito da numerosi documenti tecnici e linee guida e riportato anche dall'Allegato 2 del Decreto Direttoriale del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, n. 309/2023 (MASE 2023), l'indicazione relativa al campionamento di almeno l'1% della superficie emissiva totale.

I valori di velocità misurati in ciascun punto della superficie consentono di effettuare una stima della portata complessiva emessa dalla superficie del biofiltro e di confrontarla, se tecnicamente fattibile, con il valore della stessa grandezza, misurata dal condotto di adduzione dell'aria da depurare alla platea biofiltrante. Elevate disomogeneità di velocità dell'aria tra un punto di campionamento e l'altro nonché significative discordanze tra i valori di portata emissiva calcolati con le due differenti modalità, possono indicare l'esigenza di manutenzione del biofiltro o la presenza di irregolari vie preferenziali del gas odorigeno.

Le sorgenti areali passive costituiscono, assieme alle volumetriche, la tipologia di sorgente operativamente più complessa da caratterizzare. Per questa ragione, la norma tecnica UNI EN 13725 non prescrive un metodo di riferimento per la misura della portata di odore specifica per tali sorgenti ed esclude tale determinazione dal campo di applicazione. Riporta, invece, nell'Appendice M elementi di conoscenza e pratiche operative impiegate per il loro campionamento.

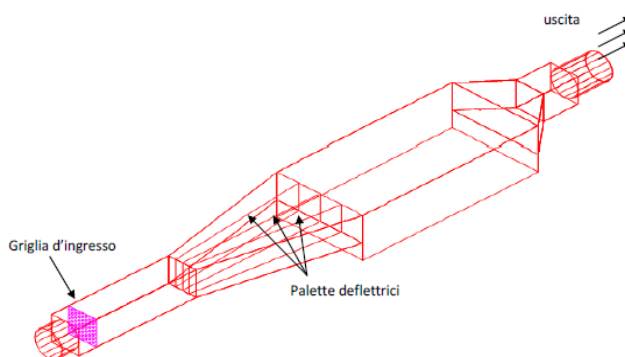
Il principio alla base del metodo di campionamento impiegato consiste nell'isolare una parte della superficie emissiva con una cappa, simulando l'effetto di "estrazione della componente odorosa" da parte della naturale ventilazione ambientale attraverso l'immissione, nella zona isolata, di un flusso gassoso controllato di aria inodore; il campione gassoso così generato è quindi captato all'uscita della cappa e convogliato nelle sacche di materiale inerte. Per eseguire i campionamenti di queste tipologie di sorgenti si utilizzano generalmente cappe ventilate denominate "Wind Tunnel (gallerie del vento)", progettate per simulare la condizione atmosferica di flusso parallelo senza rimescolamento verticale (Figura 3.3). In sostanza, il sistema a galleria del vento permette ad una corrente d'aria orizzontale, a flusso noto e misurato, di scorrere sulla superficie da campionare provocando "naturalmente" una emissione di odore che viene raccolta dalla corrente gassosa. Per ottenere



risultati rappresentativi è importante prestare attenzione ad alcuni aspetti operativi: poiché le cappe isolano dall'ambiente esterno una porzione della superficie emissiva, è possibile che localmente si alterino le condizioni di emissione (per esempio, una variazione di pressione locale può provocare un aumento o una diminuzione delle emissioni di odore); a garanzia di questo, è necessario condizionare il sistema lasciando fluire il gas all'interno della cappa per un tempo di stabilizzazione che dipende dalle caratteristiche costruttive della cappa utilizzata.

Poiché la geometria della cappa (forma e dimensioni) e la portata di aria neutra inviata sotto cappa influenza la concentrazione di odore del gas odorigeno in uscita, l'impiego di un dispositivo normalizzato, caratterizzato da una specifica geometria, e l'individuazione di parametri operativi da applicare rappresenta un elemento di garanzia per il confronto dei risultati. Per questa ragione negli allegati tecnici di disposizioni normative regionali e del Decreto Direttoriale n. 309/2023 del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE 2023), è riportato un modello di cappa, di tipo "wind tunnel", con le relative caratteristiche dimensionali, quale dispositivo generalmente impiegato nelle comuni applicazioni.

Figura 3.3: Esempio di vista tridimensionale della "wind tunnel" (Allegato 2 del D.D. 309/2023 del MASE)



In tal senso, poiché la concentrazione di odore misurata in uscita dalla wind-tunnel decresce con l'aumentare della velocità del gas inviato sotto cappa, con superfici poco emissive è necessario operare in condizioni tali per cui non si dovrebbe mai scendere al di sotto delle  $50 \div 100 \text{ uO}_E/\text{m}^3$ . A tale scopo, il prelievo deve essere effettuato con portate sufficientemente basse, ossia che consentano di avere velocità sotto cappa di qualche centimetro al secondo ( $1 \div 10 \text{ cm/s}$ ). I valori relativi alla velocità dell'aria inviata sotto la cappa e alle caratteristiche dimensionali della stessa, sono necessari alla corretta espressione del valore di flusso specifico di odore in  $\text{ou}_E/\text{m}^2\text{s}$  (SOER); pertanto, è opportuno che sul Rapporto di Prova il valore della velocità venga esplicitato.

Poiché la cappa consente di campionare una piccola frazione dell'area totale, il piano di campionamento deve prevedere che l'area campionata sia rappresentativa dell'emissione dall'intera sorgente areale. Come indicazione generale, il numero di campioni da prelevare deve essere definito in funzione dell'estensione e della tipologia di sorgente areale passiva da caratterizzare. In generale:

- per sorgenti areali passive omogenee (es. vasche movimentate di materiali liquidi), nelle quali la superficie emissiva si può ritenere ragionevolmente uniforme per effetto della miscelazione, si ritiene sufficiente prelevare un unico campione rappresentativo, avendo l'accortezza di effettuare il prelievo in zona non troppo vicina alla parete perimetrale;
- per sorgenti areali passive non omogenee (es. superfici di discarica, cumuli di rifiuti, compost o materiali in genere, ecc.), il numero di campionamenti dovrà essere valutato sia in funzione delle caratteristiche delle singole porzioni della sorgente areale, sia in funzione della loro specifica estensione. Per fare alcuni esempi concreti, nell'effettuare la caratterizzazione odorigena di cumuli di compost stoccati presso un impianto, l'individuazione del numero di campioni e dei punti di prelievo può essere basata sull'estensione e sull'età dei singoli cumuli. Analogamente, nel caso di discariche, nell'effettuare la caratterizzazione odorigena del sito, si dovrà considerare sia lo specifico utilizzo dei diversi settori (fronte di coltivazione della discarica, zone di copertura provvisoria, copertura definitiva, post-gestione, ecc.), sia lo loro estensione.

Per il caso specifico di caratterizzazione odorigena delle emissioni da superfici di discarica, l'individuazione di un'unica metodologia per il prelievo di campioni odorigeni è tuttora oggetto di dibattito scientifico, a causa del più complesso meccanismo di volatilizzazione da superfici solide. La stessa Appendice M della UNI EN 13725 definisce le superfici di discarica sorgenti "semi-passive", per via del rilascio di un flusso di gas modesto con una concentrazione di odore molto elevata; per esse la velocità del vento sembra avere scarsa influenza sulle emissioni odorigene. In particolari condizioni

operative, in luogo di un approccio diretto di misura, può essere valutata l'applicazione di un approccio di tipo indiretto, basato sulla misurazione della concentrazione di metano dalla superficie della discarica e sulla stima della concentrazione di odore, effettuata a partire dall'individuazione preliminare di una relazione di proporzionalità diretta tra concentrazione di metano misurata sulla superficie di discarica e concentrazione odorimetrica del biogas (Rachor, 2013; Lucernoni, 2017).

c) Sorgenti Volumetriche

Vengono considerate sorgenti volumetriche gli edifici dai quali fuoriescono gli odori, attraverso condotti a ventilazione naturale oppure tramite porte, portoni, finestre o altre aperture. Poiché il campionamento, la misura e la quantificazione di tali sorgenti risulta estremamente complicata, è fondamentale valutare preliminarmente la significatività e l'importanza del loro potenziale contributo. Nel caso sia fondamentale, per l'indagine, conoscere l'impatto olfattivo di questa tipologia di sorgenti, si può valutare la possibilità di stimare le portate di odore riconducendo tale sorgente ad una sorgente puntuale o areale, misurando, se possibile, i flussi gassosi in corrispondenza delle aperture e dei condotti di espulsione dei ricambi d'aria, oppure stimare la portata gassosa mediante l'utilizzo di gas traccianti.

d) Campionamenti Ambientali

In aggiunta alla caratterizzazione delle diverse sorgenti odorigene presenti in un contesto produttivo, è spesso altrettanto importante valutare le caratteristiche di qualità dell'aria delle zone su cui ricadono gli odori. Spesso le maleodorazioni si manifestano anche a distanze significative dai siti produttivi ma proprio perché percepite dalla popolazione, costituiscono fonte di preoccupazioni e timori sulla salubrità degli ambienti di vita.

I campionamenti ambientali possono essere finalizzati alla caratterizzazione chimica dell'aria ed effettuati, in alcuni casi, con strumentazione automatica specifica o con metodologie rivolte alla determinazione di famiglie di sostanze chimiche o singoli composti, restituendo dati medi su periodi temporali più o meno prolungati.

Relativamente, invece, alla determinazione olfattometrica in aria ambiente, si precisa che, per quanto diffusamente applicata, essa è esclusa dal campo di applicazione della norma tecnica UNI EN 13725. Si ritiene, infatti, che tale dato non sia indicato per la misurazione diretta dell'esposizione all'odore. In generale, l'applicazione dell'olfattometria dinamica, quale unica tecnica di indagine su campionamenti ambientali, pur essendo operativamente realizzabile, fornisce informazioni spesso limitate o poco significative.

Si riconosce, però, la sua utilità nel caso di monitoraggi di situazioni particolari come, ad esempio, quelle di estrema vicinanza alla sorgente e se opportunamente integrata e combinata con altri metodi di indagine in grado di fornire maggiore robustezza alla determinazione eseguita. L'efficacia di tale determinazione è legata, inoltre, alla tempestività del prelievo rispetto alla verifica di segnalazioni di molestia olfattiva e/o di superamenti di livelli di emissione, rilevati da specifici sensori opportunamente integrati con i campionatori olfattometrici.

### 3.2 MONITORAGGIO CHIMICO

Il monitoraggio chimico è realizzato mediante caratterizzazione chimica qualitativa e quantitativa della sorgente emissiva, finalizzata alla migliore determinazione della composizione della miscela di sostanze che ne determinano l'odore. L'analisi chimica fornisce una conoscenza quali/quantitativa, (non sempre completamente esaustiva, a causa delle diverse capacità analitiche dei diversi metodi applicabili) dei composti presenti nel gas, ma non consente, di norma, precise considerazioni sull'impatto odorigeno: difficilmente i risultati delle analisi possono essere tradotti in termini di intensità dell'odore, gradevolezza, ecc...

Correlare la composizione chimica di un'aria odorigena con la sua concentrazione di odore risulta molto complesso; tuttavia alcune informazioni possono essere dedotte dal calcolo degli Odour Activity Value (OAV) delle sostanze che costituiscono una miscela odorigena. Tale grandezza è ottenuta dal rapporto tra la concentrazione di ogni analita e la sua soglia di percezione olfattiva (Odour Threshold Concentration, OTC); la somma degli OAV di una miscela è proporzionale, in prima approssimazione, alla sua concentrazione di odore. L'applicazione del calcolo degli OAV è valida nell'ipotesi di ignorare l'interazione tra i vari componenti della miscela (effetti additivi, antagonisti o sinergici). In generale, OAV è equivalente alla concentrazione di odore di un singolo odorante mentre, in una miscela odorigena, la discrepanza tra la somma degli OAV e la concentrazione di odore può variare di 1 – 2 ordini di grandezza, a causa degli effetti di interazione non valutati. Allo stato attuale, sono ancora limitati gli studi sulla valutazione degli effetti di interazione degli odorigeni e sulla variazione degli OAV (Blazy, 2015; Wu, 2015; Wu, 2016).

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;

- valutazione di screening di un'emissione odorigena contenente anche sostanze irritanti, tossiche o nocive (industrie chimiche, fonderie, ecc.), preliminare all'analisi olfattometrica con panel;
- valutazione delle previsioni di un modello di dispersione, mediante analisi delle ricadute sui recettori di composti in tracce emessi dalle sorgenti (traccianti), a causa dell'impossibilità di eseguire sulle immissioni misure olfattometriche esenti dal fondo ambientale;
- identificazione delle sostanze odorigene più significative, al fine di individuare adeguati sistemi di abbattimento e valutarne l'efficacia.

### 3.2.1 Tecniche di campionamento ed analisi

Le analisi chimiche vengono eseguite generalmente focalizzando l'attenzione sulle categorie di composti di interesse ambientale, caratterizzate da bassa soglia olfattiva che, in base alle conoscenze sui cicli produttivi e sulle attività antropiche che caratterizzano le zone interessate al problema, possono essere presenti. È proprio in funzione delle informazioni a disposizione che vengono scelte le tecniche di campionamento e le analisi adeguate alla determinazione dei composti così individuati.

Le tecniche di campionamento ed analisi si possono distinguere tra metodologie specificatamente rivolte alla determinazione di singoli composti o metodologie dedicate a determinazioni analitiche "multiresiduali", cioè generalmente valide per un'ampia gamma di composti. La fase di campionamento, già trattata nel paragrafo 3.1.1, si sostanzia nel prelevare il campione di aria tal quale, con modalità analoghe a quelle del campionamento olfattometrico realizzato in sacchetti di Nalophan® o altro materiale adatto o, in alternativa, utilizzando materiali che consentono di "estrarre" gli inquinanti di interesse dal gas da analizzare, concentrandoli su adeguati supporti; in entrambi i casi, i campioni così ottenuti sono poi sottoposti a specifiche procedure analitiche. Tra le tipologie di campionamento che utilizzano specifici supporti per il trasferimento degli inquinanti gassosi, rientrano le tecniche basate sull'adsorbimento, assorbimento e chemiadsorbimento. Il prelievo di aria tal quale, invece, si realizza con tecniche di campionamento con bags (in Nalophan® o altro materiale adatto) o con tecniche che utilizzano i "canister", appositi contenitori metallici, rivestiti internamente da film di materiale inerte che, per depressione, convogliano il campione gassoso al loro interno senza alterarne la composizione.

Le tecniche di campionamento che sfruttano l'adsorbimento e il chemiadsorbimento, richiedono che gli inquinanti, separati dal gas da caratterizzare e catturati su specifico supporto, siano poi estratti e resi disponibili all'analisi. Ciò può avvenire attraverso il desorbimento chimico o il desorbimento termico. Nel primo caso, il desorbimento avviene utilizzando un opportuno solvente, mentre nel secondo caso il desorbimento avviene per effetto di un flusso gassoso ad elevata temperatura; questa seconda tecnica, abbinata a specifica strumentazione di desorbimento, generalmente consente di ottenere le migliori prestazioni, in termini di sensibilità analitica.

Le tecniche basate, invece, sul campionamento di aria tal quale (con bags o canister) necessitano di un adeguato sistema di preconcentrazione del campione da sottoporre ad analisi, quale ad esempio la tecnica di microestrazione in fase solida su fibra SPME oppure, nel caso di canister, l'impiego di un apposito sistema di estrazione e preconcentrazione diretta. Per la conservazione dei campioni di emissioni odorigene prelevati in bags ai fini della caratterizzazione chimica, valgono le stesse considerazioni applicate alle analisi olfattometriche: il campione così prelevato può essere sottoposto ad analisi chimica, purché ciò avvenga entro un intervallo di tempo non superiore alle 30 ore. Analogamente alle considerazioni valide per campioni da sottoporre ad analisi olfattometrica, deve essere evitata la formazione di condense nel sacchetto, operando una prediluizione con sufficiente volume di aria pulita secca.

Tra le diverse tecniche analitiche applicabili per la caratterizzazione chimica qualitativa e quantitativa, si possono citare, in funzione della tipologia di composti da determinare, la cromatografia liquida e la spettrofotometria (metodi per aldeidi, ammine, solfuri, ammoniaca, acido solfidrico, ecc.) anche se le tecniche maggiormente impiegate sono rappresentate dalla gascromatografia abbinata alla spettrometria di massa (GC/MS) e dalle più recenti tecniche di abbinamento della GC/MS con tecniche sensoriali (GC/O).

### 3.2.2 Analisi mediante Gascromatografia/Spettrometria di massa (GC/MS)

La tecnica analitica di elezione per la caratterizzazione chimica delle emissioni odorigene è certamente la gascromatografia abbinata alla spettrometria di massa (GC/MS), preceduta da un'opportuna fase di preconcentrazione del campione gassoso e desorbimento termico o, in alternativa, attraverso un sistema di criofocalizzazione. Il metodo più diffuso per l'analisi GC/MS di campioni gassosi è il metodo TO-15 dell'Environmental Protection Agency statunitense (US EPA): il campione gassoso, prelevato mediante speciali contenitori di acciaio trattati internamente (canister) precedentemente evacuati, viene sottoposto ad una fase di preconcentrazione e ed introdotto nel sistema GC/MS. Le condizioni analitiche del metodo consentono l'analisi quantitativa di gran parte delle Sostanze Organiche Volatili (SOV). Per l'applicazione ai campioni di interesse odorigeno, è comunque opportuno apportare al metodo alcune modifiche che ne estendano il più possibile il campo applicativo. Molte molecole ad alta polarità sono dotate di odore sgradevole e soglia di percezione molto bassa (ammine alifatiche, acidi carbossilici) e pertanto si suggerisce l'uso del Tenax come materiale adsorbente per le sue caratteristiche idrofobe. Inoltre, poiché la superficie interna di alcuni tipi di canister può adsorbire le molecole

polari, si preferisce l'uso di sacche (Nalophan®, Tedlar®) per il campionamento. Nel caso del prelievo in bags resta intesa la necessità dell'analisi entro le 30 ore mentre per quello mediante canister si indica un tempo di stoccaggio massimo pari a 30 giorni.

L'acquisizione dell'analisi in modalità "scansione completa" permette di registrare gli spettri di massa di tutti i composti analizzati e quindi di identificarli; per l'analisi quantitativa, si ricorre alla calibrazione del sistema GC/MS con soluzioni gassose sintetiche di riferimento per le sostanze più comuni. Il limite di rilevabilità del metodo in modalità "scansione" è generalmente inferiore a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per la maggior parte delle sostanze analizzate; in ogni caso, il limite di rilevabilità dipende dal volume di campione gassoso analizzato (solitamente alcuni litri di aria). Per la ricerca di specifiche sostanze odorigene o particolari traccianti nelle immissioni, si ricorre alla tecnica di acquisizione SIM (Selected Ion Monitoring), che raggiunge, in queste condizioni, limiti di rilevabilità generalmente inferiori a  $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , analizzando volumi di aria da 2 a 8 litri.

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

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

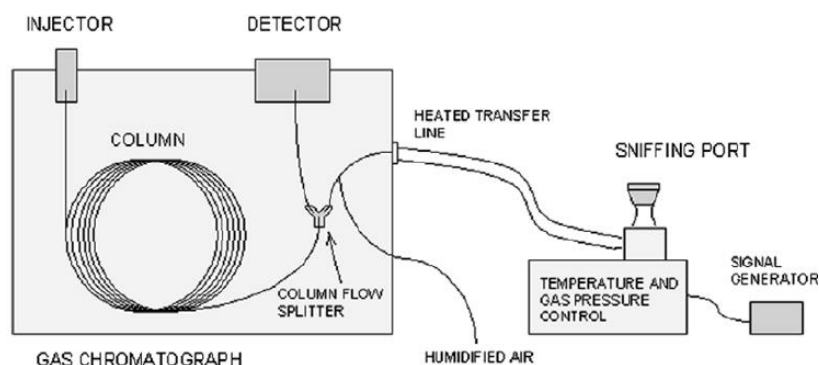
Tipicamente il tracciato cromatografico che caratterizza un campione di una emissione mostra la presenza di numerosi componenti; tra questi, vanno individuati quelli che contribuiscono significativamente alle proprietà odorigene del campione, che possono essere stimate dalla somma dei loro OAV e confrontate con il risultato dell'analisi olfattometrica.

In abbinamento al metodo TO-15, è spesso impiegata la tecnica di microestrazione in fase solida su fibra (SPME) per l'analisi quantitativa GC/MS delle immissioni, sia per praticità che semplicità d'uso; per campioni gassosi prelevati in emissione, che presentano concentrazioni nell'ordine dei  $\text{mg}/\text{m}^3$ , la tecnica SPME è sconsigliabile a causa di fenomeni di saturazione della fibra estraente.

### 3.2.3 Analisi mediante Gascromatografia/Olfattometria (GC/O)

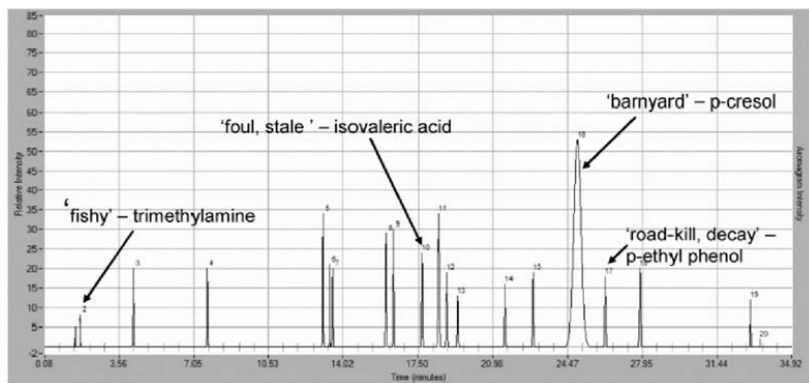
Di relativamente recente introduzione nel panorama delle tecniche di indagine, e per questo ancora poco diffusa, la Gascromatografia - Olfattometria (GC-O) è una tecnica ibrida senso-strumentale che accoppia la separazione gas-cromatografica alla rivelazione sensoriale, condotta ad opera di un panel di valutatori addestrati che, attraverso una specifica porta di annusamento in vetro o in PTFE, connessa in parallelo agli analizzatori convenzionali, valuta i differenti composti eluiti dal GC. La caratteristica principale che contraddistingue questa tecnica consiste nella suddivisione, secondo rapporti definiti, dell'eluato in uscita dalla colonna gascromatografica, fra l'analizzatore convenzionale (generalmente FID o MS) e una porta olfattometrica; in figura 10 è mostrato lo schema di funzionamento dell'apparato strumentale.

Figura 3.4: Schema di funzionamento dell'apparato strumentale GC-O



L'eluato raggiunge la porta olfattometrica attraverso una linea di trasferimento riscaldata per impedire la condensa di analiti semi-volatili sulle pareti del capillare. Al fine di preservare la sensibilità olfattiva del valutatore umano ed evitare fenomeni di disidratazione delle mucose nasali, dovuti alla presenza del gas carrier cromatografico, all'eluato viene addizionata aria umidificata (prima che esso raggiunga l'organo di senso). Il valutatore umano, quindi, rivela la presenza o meno dell'odore, valuta la durata della percezione olfattiva relativa all'odore percepito, lo descrive qualitativamente e ne quantifica l'intensità. Le informazioni sensoriali vengono registrate e associate ai picchi cromatografici ottenuti dal cromatogramma, ottenendo il cosiddetto aromagramma, di cui la successiva figura ne rappresenta un esempio (Figura 3.5).

Figura 3.5: Esempio di aromagramma ottenuto da analisi condotta mediante GC-O



Se l'estratto analizzato è sufficientemente concentrato, il flusso di eluato può essere, talvolta, separato in più flussi e veicolato verso più porte olfattometriche per la rilevazione simultanea da parte di diversi valutatori; questo approccio può fornire risultati più rappresentativi fornendo un valore medio di più valutazioni per ogni analisi.

La qualità dei dati raccolti dal GC-O è influenzata, in modo rilevante, dalle condizioni di separazione della miscela, determinando la qualità dell'eluato disponibile per la percezione e, quindi, la risposta del rivelatore umano. Infatti, il comportamento cromatografico delle sostanze odorigene varia sia in relazione alle fasi stazionarie della colonna gascromatografica, sia in funzione della tipologia dei composti, alcuni dei quali possono decomporsi facilmente durante l'analisi (ad esempio, i composti dello zolfo sono particolarmente suscettibili alla decomposizione indotta dal calore).

Il carattere odorigeno di alcuni composti, inoltre, dipende fortemente dalla loro concentrazione; molti composti odorigeni sono infatti presenti in concentrazioni molto basse nelle matrici complesse. Ulteriore fattore di criticità è la possibile co-eluzione di alcuni composti, effetto che rende più complessa la correlazione tra l'aroma rilevato e il composto. A tale proposito, recenti sviluppi della tecnica in tale contesto prevedono la cromatografia bidimensionale (GC × GC), che sembra essere la scelta più adeguata a soddisfare la necessità di una maggiore separazione e di una maggiore sensibilità. Questa tecnica si basa sulla raccolta continua di un effluente da una colonna GC e dalla re-iniezione periodica di piccole porzioni dell'effluente ad una seconda colonna di diversa polarità, consentendo l'analisi olfattiva delle aree cromatografiche congestionate. È necessario tuttavia evidenziare che il GC × GC accoppiato con ODP è una tecnica estremamente faticosa per l'operatore poiché i picchi vengono eluiti molto rapidamente e l'esaminatore può non avere abbastanza tempo per percepire gli odori e fornire i relativi descrittori.

La qualità dei dati raccolti mediante GC-O è certamente influenzabile anche del rivelatore umano; per ottenere dati riproducibili, i valutatori potenziali dovrebbero quindi essere sottoposti a screening per la sensibilità, la motivazione, la capacità di concentrazione e la capacità di richiamare e riconoscere le qualità degli odori; per evitare di compromettere le prestazioni del rivelatore umano, le evidenze scientifiche suggeriscono di non superare un tempo di annusamento di 25-30 minuti (Delahunty, 2006). La necessità di comprendere quali siano le sostanze responsabili del conferimento di un determinato odore ad un campione gassoso, ha determinato lo sviluppo della metodologia GC-O in applicazioni legate soprattutto al campo alimentare, per la caratterizzazione dei prodotti dal punto di vista olfattivo (studio degli "aromi") ma anche al campo medico, profumiero e ambientale, la maggior parte delle quali riguardante l'analisi di campioni provenienti da aree circostanti fattorie, stalle, caseifici, discariche, ai fini della valutazione delle sostanze responsabili della molestia olfattiva (Brattoli, 2013).

La GC-MS/O è, inoltre, perlopiù impiegata per la determinazione dell'efficienza di diversi sistemi di trattamento per la riduzione delle emissioni di odori; in particolare, i dati sensoriali, fornendo indicazioni sui composti odorigeni che contribuiscono maggiormente all'odore, sono utili ad individuare strategie specifiche di mitigazione e per caratterizzare gli odoranti sia prima che dopo l'applicazione di prodotti di abbattimento (carbone attivo, gel di silice e zeolite).

I risultati GC-O possono utilmente essere integrati con quelli acquisiti attraverso altri approcci, con l'obiettivo di fornire possibili correlazioni per una migliore comprensione dell'evento odorigeno; ad esempio, i risultati della GC-O possono essere abbinati con quelli ottenuti mediante olfattometria dinamica, rilevando correlazioni tra le concentrazioni dei SOV odorigeni e le concentrazioni di odore misurate.

### 3.2.4 Uso di altre tecniche analitiche

Le emissioni odorigene possono talvolta avere origine da specie chimiche inorganiche, quali ad esempio il solfuro di idrogeno (H<sub>2</sub>S) e l'ammoniaca (NH<sub>3</sub>) o da specie organiche per le quali la GC/MS non è ritenuta la tecnica analitica più adatta.

Nei casi in cui, in base a considerazioni tecniche sulla natura della sorgente, si ritenga altamente probabile che l'emissione odorigena sia dovuta in maniera significativa a H<sub>2</sub>S e/o a NH<sub>3</sub> e/o ad aldeidi, mercaptani, ammine, dovrà essere presa in considerazione la possibilità di monitorare queste specie tramite opportune tecniche analitiche alternative alla GC/MS.

Tali tecniche potranno essere utilizzate solo come complemento alla GC/MS e non come alternativa all'analisi GC/MS.

A titolo di esempio, di seguito sono indicati alcuni possibili metodi per il monitoraggio dei composti per i quali la GC/MS non è la tecnica di elezione (MASE 2023):

- per H<sub>2</sub>S è possibile applicare il metodo NIOSH 6013; il metodo prevede il campionamento su fiala di carbone, il trasferimento in laboratorio, l'estrazione con ammoniaca e acqua ossigenata che convertono il solfuro in solfato e l'analisi tramite cromatografia ionica.  
Altri metodi alternativi sono: analisi gascromatografica seguita da un rivelatore FPD (flame photometric detection), come indicato nel metodo CFR Promulgated Test Method 15 dell'Environmental Protection Agency statunitense (US EPA); analisi volumetrica con metodo UNICHIM 634; conversione quantitativa in SO<sub>2</sub> e analisi tramite fluorescenza ultravioletta secondo la norma EN 14212; analisi gascromatografica secondo la norma UNI EN ISO 19739 (si evidenzia che quest'ultimo metodo è formalmente concepito per il gas naturale ma può essere opportunamente adattato al monitoraggio di emissioni odorigene); campionamento su zinco acetato e analisi spettrofotometrica con blu di metilene.
- Per NH<sub>3</sub>, il metodo di riferimento è l'UNI EN ISO 21877. Qualora fosse motivato da esigenze specifiche, è possibile ricorrere a metodi alternativi, quali ad esempio NEN 2826, VDI 3496 BLATT 1, NF X43-303, OSHA 188, NIOSH 6016/6015, EPA CTM-027.
- Per le aldeidi, il metodo di riferimento è la derivatizzazione con 2,4-dinitrofenilidrazina seguita da analisi in cromatografia liquida ad alta risoluzione (HPLC), come riportato ad esempio nell'allegato al D.Lgs. 250 del 24 dicembre 2012. Tale allegato fornisce le condizioni operative per il campionamento e la determinazione strumentale, nonché importanti indicazioni per la rimozione dell'interferenza dell'ozono tramite uno scrubber con ioduro di potassio. Ulteriori istruzioni operative possono essere reperite nel metodo TO-11 dell'Environmental Protection Agency statunitense (US EPA), concepito per la formaldeide, ma comunemente utilizzato per l'intera classe delle aldeidi, a patto che il campionamento abbia durata inferiore a tre ore (Herrington, 2007).
- Per i mercaptani, una metodologia analitica applicabile è la gascromatografia con rivelatore selettivo a fiamma fotometrica (GC-FPD).
- Per le ammine, le metodologie analitiche alternative sono la cromatografia liquida ad alta risoluzione (HPLC), come descritto ad esempio nella norma VDI 2467 Blatt 2, oppure la GC FID con opportune colonne cromatografiche, come descritto ad esempio dalle norme NIOSH 2002 e NIOSH 2010.

Si ritiene utile ribadire che, qualora il laboratorio lo ritenga opportuno, la GC/MS può essere comunque utilizzata anche per la ricerca e la quantificazione delle specie appena menzionate, fatta salva la necessità di prendere le opportune misure per garantire la qualità del dato analitico.

In ogni caso, il metodo scelto deve garantire un livello di prestazione compatibile con l'eventuale valore limite emissivo prescritto.

Anche per i composti inorganici, in alternativa al campionamento attivo, si possono utilizzare campionatori passivi o campionatori diffusivi: tale metodologia può essere adottata nei casi in cui è sufficiente avere un valore mediato su un lungo intervallo temporale.

### 3.3 OLFATTOMETRIA DINAMICA

Nel presente paragrafo sono enunciati gli aspetti principali e caratterizzanti dell'analisi di campioni gassosi mediante la tecnica sensoriale dell'olfattometria dinamica per la determinazione della concentrazione di odore. Tale metodologia analitica è descritta nella norma tecnica UNI EN 13725 e rappresenta l'unico metodo oggettivo standardizzato a livello europeo.

La norma affronta gli aspetti principali legati a:

- ripetibilità e riproducibilità dei risultati;
- rappresentatività degli esaminatori impiegati nell'analisi rispetto alla popolazione generale;
- scelta dello standard gassoso di riferimento e trasferibilità agli odori ambientali dei risultati prestazionali ottenuti per il materiale di riferimento;
- caratteristiche costruttive delle apparecchiature.

Lo scopo e il campo di applicazione della norma UNI EN 13725 includono la misurazione olfattometrica mediante olfattometria ritardata, secondo cui un campione di gas odorigeno è raccolto in un idoneo contenitore e successivamente analizzato da un panel di esaminatori, opportunamente selezionati, allo scopo di determinarne il fattore di diluizione alla soglia di rivelazione del 50%. A questo fattore di diluizione, la concentrazione di odore è, per definizione, pari a  $1 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ ; la concentrazione di odore è, quindi, espressa come multiplo di tale quantità nelle condizioni di riferimento per l'olfattometria (temperatura di 293 K e pressione atmosferica normale di 101,3 kPa su base umida). L'unità di misura, denominata unità odorimetrica ( $\text{ou}_E/\text{m}^3$ ), è definita come la quantità di odorante/i che, quando evaporata in un metro cubo di gas neutro in condizioni di riferimento, provoca una risposta fisiologica in un panel (soglia di rivelazione) equivalente a quella provocata da una massa di odore di riferimento europeo (EROM), evaporata in  $1 \text{ m}^3$  di gas neutro in condizioni di riferimento. La norma definisce un riferimento primario, il gas n-butanolo, che costituisce la base per la riferibilità delle unità odorimetriche di ogni odorante a quella del materiale odorante di riferimento secondo la seguente relazione:

$$1 \text{ EROM} = 123 \mu\text{g} = 1,659 \mu\text{mol} = 1 \text{ ou}_E/\text{m}^3$$

La concentrazione di odore di una miscela gassosa è, quindi, esprimibile in termini di "equivalenti in massa di n-butanolo" o di grandezza di stimolo olfattivo equivalente.

Nella recente revisione della norma tecnica, è introdotta la possibilità, per un laboratorio, di considerare un riferimento secondario (SROM), impiegato come criterio aggiuntivo per la selezione e la taratura del panel, costituito da un odorante singolo o miscela di odoranti di composizione molare definita, e di stabilirne un valore stimato robusto della quantità molare della massa di odore rispetto al riferimento primario.

### Selezione del panel

Gli esaminatori impiegati nell'analisi olfattometrica costituiscono il sensore della misura; come tali, devono essere selezionati, tra la popolazione generale, in ragione della sensibilità olfattiva valutata rispetto all'odorante di riferimento primario (n-butanolo) e, come criterio aggiuntivo nel caso sia implementato dal laboratorio, anche del riferimento secondario.

La norma specifica, con dettaglio, il procedimento di selezione mediante il quale viene assicurata l'oggettività della misurazione analitica. Tale procedimento prevede la raccolta di almeno 12 stime di soglia individuale (ITE) per il gas di riferimento, nel corso di almeno 3 sessioni in giorni non consecutivi. Affinché un esaminatore sia qualificato come membro del gruppo di prova, la sua sensibilità olfattiva deve rientrare in un range definito ed i dati raccolti nei test di selezione devono essere conformi ai seguenti criteri:

- l'antilogaritmo dello scarto tipo delle ITE calcolato dai logaritmi ( $\log_{10}$ ) delle stime di soglia individuale, espresse in unità di concentrazione di massa del gas odorante di riferimento deve essere minore di 2,3;
- la media geometrica delle stime di soglia individuale, espressa in unità di concentrazione massica del gas di riferimento, deve rientrare tra 0,5 volte e 2 volte la EROM o la SROM per il materiale odorante di riferimento (per l'n-butanolo da  $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $246 \mu\text{g}/\text{m}^3 \equiv$  da  $0,020 \mu\text{mol}/\text{mol}$  a  $0,080 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ).

Ciascun membro del panel deve attenersi ad un codice di comportamento ben definito dalla norma allo scopo di garantire affidabilità e minima interferenza nell'attività analitica (par.6.7.1 UNI EN 13725/2022).

Inoltre, per ciascun membro del panel deve essere registrata e conservata una cronologia di misurazioni delle 12 stime di soglia individuale più recenti allo scopo di monitorare la variabilità e la sensibilità individuali rispetto all'odorante di riferimento. Qualora il membro del panel non fosse conforme ai criteri di selezione enunciati, deve essere escluso da tutte le ulteriori misurazioni fino alla nuova valutazione della conformità.

### 3.3.1 Analisi olfattometrica

La norma tecnica prevede che le analisi olfattometriche possano essere effettuate attraverso diverse modalità, a seconda della strumentazione a disposizione, finalizzate alla definizione della stima di soglia individuale e alla presentazione dell'odorante.

- Modalità "si/no"  
Gli esaminatori devono fornire un riscontro in merito alla percezione o meno di odore "si o no", di un campione gassoso presentato da una porta specifica; l'esaminatore è consapevole che le somministrazioni possono essere rappresentate da campione odorigeno o bianco (gas neutro).
- Modalità di "scelta forzata"  
Agli esaminatori sono presentate due o più porte di somministrazione, di cui una fornisce il campione odorigeno e la/e altra/e il gas neutro. La somministrazione del campione odorigeno è casuale sulle porte disponibili ed all'esaminatore viene richiesto di individuare "forzatamente" la porta da cui proviene lo stimolo, in caso di dubbio è necessario sceglierne una a caso. Inoltre all'esaminatore viene chiesto di classificare la scelta come azzardo, sospetto o certezza; con la combinazione della risposta e del livello di certezza indicato, le risposte sono classificate come vere o false.  
Per ciascuna delle due modalità, la norma fornisce indicazioni in merito alla sequenza delle diluizioni da somministrare al panel, nonché numero e ordine delle presentazioni.

### Valutazione della tossicità del panel

La misura della concentrazione di odore è effettuata attraverso la somministrazione, a soggetti qualificati, di concentrazioni crescenti di campioni incogniti e/o standard di riferimento fino alla soglia soggettiva di percettibilità.

La norma tecnica di riferimento esprime indicazioni di tipo generale relativamente alla valutazione dei rischi inerenti alla tossicità per il personale addetto alle analisi olfattometriche, compresi i membri del panel. Per questi ultimi, non devono sussistere rischi inaccettabili per la salute associati all'inalazione del campione di gas odorigeno (diluito) durante il processo di misurazione.

Quale principio generale, i campioni contenenti composti potenzialmente pericolosi (per esempio cancerogeni, teratogeni) non devono essere analizzati se esiste un rischio inaccettabile per la salute dell'operatore o dei membri del panel (per esempio benzene, formaldeide). Inoltre, in caso di concentrazione nota dei composti, i limiti di esposizione professionale vigenti devono essere valutati in relazione alle diluizioni proposte; le presentazioni di campioni diluiti che eccedono i valori limite di esposizione pertinenti devono essere escluse dalla serie di diluizioni (ad esempio, la serie di diluizioni deve essere interrotta in corrispondenza del fattore di diluizione in cui il valore limite di esposizione è superato).

Nello specifico, in merito alla prevenzione della salute dei lavoratori che costituiscono il panel di esaminatori, ogni Laboratorio e/o ogni Agenzia Regionale di Protezione dell'Ambiente adotta una procedura di sorveglianza sanitaria e operativa ai sensi del proprio "Documento di Valutazione del Rischio (DVR)" rispettando le indicazioni fornite dal Datore di Lavoro, dal Medico Competente e dal Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione (RSPP).

Alcune Agenzie e Laboratori hanno approfondito gli aspetti legati alla sicurezza sanitaria del panel di esaminatori ed hanno messo in atto procedure operative per ricondurre le sessioni analitiche olfattometriche entro i limiti dei criteri di accettabilità del "rischio chimico cancerogeno e non cancerogeno" e per monitorare periodicamente lo stato di salute dei lavoratori interessati.

### Requisiti di qualità delle prestazioni e valutazione dell'incertezza di misura

La verifica della qualità dei dati olfattometrici è generalmente effettuata considerando sia la riferibilità del panel ai criteri di prestazione di laboratorio, valutati rispetto al gas di riferimento, sia alla coerenza delle risposte dei membri del gruppo di prova nell'ambito della sessione di analisi. Per garantire la riferibilità, nell'ipotesi di trasferibilità dei risultati prestazionali determinati per il materiale di riferimento agli odori ambientali, i requisiti di qualità del laboratorio sono solitamente espressi in termini di accuratezza e precisione.

La norma definisce criteri stringenti per la verifica di conformità ai criteri di qualità per le prestazioni complessive del laboratorio. In particolare, definisce le procedure di calcolo per la loro determinazione, valutate sulle misure effettuate sul materiale di riferimento, come di seguito riportate:

**Accuratezza:  $A \leq 0,217$**

**Ripetibilità:  $r \leq 0,477$**

Per valutare, invece, la coerenza dei risultati del panel si fa riferimento ad una procedura di validazione che esclude dalla misura i membri del panel che forniscono risposte che differiscono, oltre un definito valore, dalla media ottenuta durante una sequenza di misura.

Al fine di escludere membri del gruppo di prova che mostrino comportamenti falsati, la norma tecnica impone di effettuare una procedura di vaglio retrospettivo, attraverso la quale si verifica la conformità del parametro  $\Delta Z$ , pari al rapporto tra una stima di soglia individuale e la media geometrica di tutte le stime di soglia individuale in una misurazione (punto 9.6.1.3 della norma UNI EN 13725/2022).

Lo scarto permesso nel vaglio retrospettivo, tra la singola misura e la media geometrica, deve essere conforme a  $-5 \leq \Delta Z \leq 5$ , pena l'esclusione del membro del panel dalla serie di misurazioni. Tale procedura viene reiterata finché tutti i membri del gruppo di prova risultino conformi. Qualora i membri del panel conformi fossero in numero inferiore a 4, la misura non potrebbe ritenersi valida.

Nell'espressione del risultato finale, il valore di concentrazione di odore deve essere accompagnato dall'incertezza di misura, indicata come intervallo di confidenza al 95%. Allo scopo, la norma tecnica definisce, nel dettaglio, i relativi metodi di valutazione, sia all'interno di un singolo laboratorio che tra laboratori. La stessa norma riconosce, quale principale contributo all'incertezza del dato olfattometrico, la variabilità della risposta olfattiva dei diversi membri del panel e, quindi, della loro composizione nell'ambito di una sessione analitica. Tale aspetto, pertanto, rappresenta un aspetto rilevante costituisce parte integrante della procedura di valutazione dell'incertezza, per la quale si rimanda integralmente alla norma tecnica UNI EN 13725.

### Trasporto e conservazione del campione

Il campione deve essere analizzato nel più breve tempo possibile, in ogni caso mai oltre le 30 ore dal prelievo allo scopo di minimizzare le possibili cause di deterioramento del campione. Esse, infatti, possono essere dovute a processi di adsorbimento sulla superficie del sacchetto, diffusione attraverso il materiale polimerico del sacchetto e trasformazione chimica che può avvenire per effetto dell'umidità e dell'ossigeno presenti nel sacchetto.

Sebbene non vi sia sufficiente chiarezza nella letteratura per dimostrare che al di sotto di certi tempi di conservazione si possa essere ragionevolmente sicuri che i fenomeni di degradazione, adsorbimento e diffusione non siano significativi, per alcune tipologie di



campioni odorigeni (fonderie e lavorazione del tabacco) è stata mostrata una degradazione significativa (riduzione >50%) della concentrazione di odore entro 30 h dal campionamento.

Inoltre, è stato dimostrato come i fenomeni di diffusione attraverso il materiale polimerico del sacchetto risultino più significativi per talune specie chimiche con massa molecolare relativamente bassa, come l'idrogeno solforato, il dimetilsolfuro, l'ammoniaca, la trimetilammina (Kasper, 2017).

Pertanto, una strategia utile per la riduzione del fenomeno di diffusione può consistere nell'impiego di sacchetti con spessore maggiore o costituiti da materiale multistrato. La norma tecnica suggerisce anche la possibilità di utilizzare doppi sacchetti concentrici riempiti con la stessa miscela nello spazio tra il sacchetto interno e quello esterno per ridurre al minimo la diffusione del campione di gas odorigeno nel sacchetto interno.

Durante il trasporto, è necessario che:

- i campioni non vengano esposti alla luce solare diretta per evitare reazioni di fotodegradazione e diffusione;
- la temperatura sia mantenuta al di sopra del punto di rugiada dei campioni, per evitare la formazione di condensa;
- l'umidità all'interno del sacchetto sia mantenuta a valori inferiori o prossimi all'umidità dell'aria circostante, per evitare il trasferimento di massa dell'acqua attraverso la pellicola polimerica e il rischio associato di perdita di odoranti idrosolubili dal campione di gas odorante.

Inoltre, è necessaria un'adeguata protezione dei campioni da danneggiamenti meccanici, attraverso contenitori opportuni per evitare contaminazione con l'esterno.

### Campionamento olfattometrico

La norma tecnica definisce, inoltre, aspetti relativi al campionamento olfattometrico ed, in particolare, elementi utili per la definizione di una strategia opportuna di campionamento, caratteristiche dei materiali e dei dispositivi da impiegare, calcolo della portata di odore (Odour Emission Rate - OER), espressa come ou<sub>E</sub>/s, per sorgenti puntuali e areali attive nelle condizioni di riferimento per l'olfattometria, ossia temperatura di 293 K e pressione atmosferica normale di 101,3 kPa su base umida. Per gli aspetti operativi di campionamento, si rimanda a quanto già riportato nel par.4.1.

In merito al calcolo delle portate di odore, di seguito si indica la formula generale:

$$OER = Q_{effl} * C_{od}$$

OER: portata di odore espressa come ou<sub>E</sub>/s

Q<sub>effl</sub>: portata volumetrica dell'effluente espressa come m<sup>3</sup>/s

C<sub>od</sub>: concentrazione di odore misurata espressa come ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>

Nel caso di una sorgente areale attiva, il valore della portata di odore è indicato, per sorgenti omogenee (velocità misurate in vari punti della superficie differiscono al massimo di un fattore 2), come segue:

$$Q_{od, clean} = \frac{A_{sorgente}}{n * A_{cappa}} \sqrt{\prod_{i=1}^n C_{od,i} * V_{RH,293,cappa}}$$

dove

q<sub>od, clean</sub>: portata di odore della sorgente (ou<sub>E</sub>/s);

A<sub>sorgente</sub>: area sorgente (m<sup>2</sup>);

A<sub>cappa</sub>: superficie della cappa di campionamento (m<sup>2</sup>);

n: numero di celle di campionamento campionate;

C<sub>od,i</sub>: concentrazione di odore del singolo campione (ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>);

V<sub>RH,293,cappa</sub>: portata volumetrica misurata nella cappa di campionamento (m<sup>3</sup>/s), in condizioni di riferimento per l'olfattometria.

La stima dell'OER per sorgenti areali di tipo passivo prevede la determinazione 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<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup> \*s)) che si ottiene nel seguente modo:

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

SOER: flusso specifico di odore espresso come ou<sub>E</sub>/m<sup>2</sup>/s

Q<sub>effl</sub>: portata volumetrica dell'effluente uscente dalla cappa espresso come m<sup>3</sup>/s

C<sub>od</sub>: concentrazione di odore misurata espressa come ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>

$A_{base}$ : area di base della cappa espressa in  $m^2$

La portata di odore (OER) è calcolata come:

$$OER = SOER * A_{emiss}$$

$A_{emiss}$ : superficie emissiva effettivamente esposta all'atmosfera, espressa in  $m^2$ .

### 3.4 SISTEMI AUTOMATICI PER LA MISURAZIONE DELL'ODORE (IOMS)

#### 3.4.1 Riferimenti Normativi

La norma tecnica UNI 11761:2023 rappresenta un punto di riferimento fondamentale per l'utilizzo degli strumenti automatici per la misurazione dell'odore (IOMS) in Italia, in quanto fornisce linee guida precise sulla loro progettazione, installazione e utilizzo. La norma specifica i requisiti per la determinazione degli odori mediante sistemi di monitoraggio olfattivo strumentale e le caratteristiche dei dispositivi in termini di affidabilità e precisione.

La norma prevede le seguenti tre diverse tipologie di misurazione:

1. Misurazione di presenza/assenza dell'odore (Misurazione di tipo A) - Consiste nella rilevazione della semplice presenza o assenza dell'odore, senza ulteriori dettagli;
2. Misurazione della classe di odore (Misurazione di tipo B) - Questa misurazione classifica l'odore in base a determinate categorie predefinite, permettendo una valutazione qualitativa del tipo di odore;
3. Misurazione della quantità di odore (Misurazione di tipo C) - Esprime la quantità di odore su una scala correlata con la concentrazione di odore, determinata secondo la norma UNI EN 13725.

Queste categorie e misurazioni consentono un monitoraggio ambientale dettagliato e versatile, adattabile a diverse esigenze e contesti operativi.

Nell'ambito del quadro normativo nazionale, il Decreto Direttoriale n. 309 del 28/06/2023, emanato dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE 2023) rappresenta un utile riferimento. Nell'Allegato A.5, infatti, è riportato un approfondimento sui Sistemi di Monitoraggio Strumentale degli Odori (IOMS - Instrumental Odour Monitoring System) nell'ottica di un loro impiego nella gestione e controllo degli impatti olfattivi causati dalle attività industriali.

#### 3.4.2 Principi di funzionamento e requisiti strumentali

Gli IOMS sono sistemi strumentali progettati per fornire informazioni qualitative e quantitative relativamente alla miscela gassosa odorigena. Tali dispositivi sono costituiti da un sistema sensoristico/analitico che generalmente include una serie di sensori di diversa tipologia, di norma aspecifici (es. elettrochimici, MOS (Metal Oxide Semiconductor), PID (Photoionization Detector), polimerici, etc.) oppure, in altri casi, utilizzano tecnologie avanzate che generano spettri, cromatogrammi o vettori numerici. La scelta del sistema sensoristico/analitico più adatto dipende da vari fattori, tra cui la natura chimica delle sostanze da rilevare, la precisione richiesta, le condizioni ambientali e i costi. In molti casi, per garantire maggiore affidabilità e accuratezza, vengono combinati più sensori all'interno di un unico sistema.

Le informazioni prodotte dal sistema sensoristico/analitico (hardware dello IOMS), in combinazione con il sistema di elaborazione (software dello IOMS), sono funzionali alla valutazione delle diverse tipologie di misurazione previste dalla norma tecnica UNI 11761 e, nella fattispecie, presenza/assenza di odore, classificazione dell'odore e sua quantificazione.

L'insieme delle risposte prodotte dai diversi sensori viene, quindi, elaborato dal software dello IOMS attraverso complesse tecniche matematiche e specifici algoritmi di calcolo per gli scopi definiti dalla norma tecnica. L'elaborazione include l'estrazione delle caratteristiche e le tecniche di riconoscimento dei tracciati basate su metodologie quali l'analisi dati multivariata, ad esempio l'analisi delle componenti principali, o le analisi con tecniche delle reti, come ad esempio le reti neurali [ad esempio "K-Nearest Neighbors" (KNN), "Discriminant Function Analysis" (DFA), "Partial Least Square interpolation" (PLS) o "Artificial Neural Network" (ANN)].

In assenza di un adeguato trattamento dei segnali, quindi, i dati in uscita dal sistema sensoristico/analitico possono essere registrati ma non forniscono informazioni utili per le valutazioni.

Gli IOMS, quindi, non eseguono un'analisi chimica dell'aria analizzata, bensì, dopo un'adeguata fase di addestramento e taratura, ed in condizioni controllate, sono in grado di rilevare e riconoscere l'odore nel suo insieme.

L'impiego di questi strumenti, nella pratica, può risultare complesso poiché la loro accuratezza può essere influenzata da vari fattori ambientali come l'umidità, la temperatura, la velocità del vento e la pressione atmosferica. Per tale ragione, le condizioni ambientali di impiego devono essere specificate dal costruttore e considerate durante le verifiche in campo, come definito dalla norma tecnica UNI 11761. Per garantire dati accurati e affidabili, è necessario dunque il riferimento ad un metodo standardizzato. La fase di addestramento, infatti, è deputata allo studio delle relazioni funzionali fra la risposta dello IOMS e i dati ottenuti mediante il metodo di

riferimento; nel caso della misurazione relativa alla quantificazione, si ricorre all'analisi olfattometrica, condotta secondo la norma UNI EN 13725, per la verifica della suddetta relazione con il dato di concentrazione di odore.

È utile precisare infatti, che gli IOMS *“forniscono la misurazione analitica strumentale degli odoranti presenti in una miscela gassosa, da non confondere con la misurazione dell'odore, che è invece la misurazione della sensazione prodotta dagli odoranti presenti nella miscela gassosa sull'olfatto umano secondo UNI EN 13725”*.

### 3.4.3. Addestramento e Validazione

Un sistema IOMS, a seconda del tipo di misura che è in grado di fornire (misurazione di tipo A, B, C) deve essere sottoposto ad un'accurata e complessa fase di addestramento (training) da eseguire preventivamente all'utilizzo, secondo il protocollo ritenuto più efficace in relazione alle specifiche caratteristiche dello IOMS utilizzato e relativo contesto.

L'addestramento consiste nell'esecuzione di una serie di operazioni utili a definire la relazione funzionale tra le risposte di uno strumento di misura automatico (IOMS) che analizza un gas odorante e gli indicatori ottenuti mediante il metodo di riferimento.

L'obiettivo, quindi, è di mettere lo IOMS nelle condizioni di fornire misurazioni strumentali dell'odore in linea, quanto più possibile, con gli esiti del metodo sensoriale di riferimento.

Soltanto a seguito della fase di addestramento, lo strumento può fornire una misurazione valida dell'odore (di tipo A, B, C).

Sebbene la norma tecnica UNI 11761 non fissi requisiti specifici riguardo il protocollo di addestramento, si riporta quanto fornito in allegato A5 del Decreto Direttoriale n. 309/2023 in merito alla definizione di uno schema generale per la procedura di addestramento, al quale si rimanda per il dettaglio operativo (MASE 2023).

In linea di massima, il processo di addestramento di uno IOMS può prevedere le seguenti fasi:

- individuazione delle sorgenti odorigene di interesse, rappresentative degli odori che lo IOMS dovrà discriminare/classificare/quantificare in fase di misura;
- prelievo dei campioni dalle sorgenti individuate e analisi in olfattometria dinamica (UNI EN 13725), per la determinazione della concentrazione di odore, finalizzati anche all'individuazione del fattore di diluizione da considerare nell'allestimento del set di campioni di addestramento per lo IOMS;
- definizione e somministrazione allo IOMS del set di campioni, a diversi livelli di diluizione nota e popolamento del dataset;
- elaborazione delle risposte dei sensori per la definizione di opportune correlazioni tra il segnale dello IOMS e i parametri determinati con il metodo sensoriale di riferimento, finalizzati all'ottimizzazione delle performance dello IOMS in termini di riconoscimento dell'impronta di odore (“pattern recognition”) e predizione dell'intensità di odore (“prediction on-line”).

L'addestramento degli IOMS può essere eseguito sia in laboratorio che in campo, seguendo modalità e durate che devono essere definite preliminarmente attraverso protocolli operativi specifici per ciascuno strumento.

La fase di addestramento è cruciale per assicurare che gli IOMS funzionino efficacemente e con precisione, sia durante le simulazioni in ambiente controllato (laboratorio) che in situazioni reali (campo). Tuttavia, considerando l'influenza dei fattori esterni, come umidità, temperatura, velocità del vento e pressione atmosferica, e la differente selettività dei sensori nella discriminazione dei composti odorigeni, è fondamentale prevedere una fase di verifica dell'addestramento in campo. Questa fase è essenziale per compensare e valutare l'effetto delle condizioni ambientali sulle prestazioni degli IOMS. In questo modo, si può garantire che lo strumento mantenga la sua precisione e affidabilità anche in situazioni ambientali variabili, affinando la sua capacità di rilevare e riconoscere gli odori in contesti reali.

A tal proposito, è importante sottolineare che la norma tecnica UNI 11761 stabilisce tre livelli distinti per la gestione del processo di misura mediante IOMS:

- Livello 1: Verifica metrologica iniziale – Questa fase riguarda la verifica preliminare delle caratteristiche metrologiche dello strumento, atta ad assicurare i requisiti tecnici di validità delle prestazioni prima di essere immesso sul mercato;
- Livello 2: Verifica dell'addestramento in campo – In questo livello, lo strumento viene testato in condizioni reali per valutare l'efficacia dell'addestramento e per compensare l'influenza delle condizioni ambientali sulla rilevazione degli odori;
- Livello 3: Verifica delle prestazioni durante l'utilizzo in campo – Questa fase prevede un monitoraggio continuo delle prestazioni dello strumento durante il suo impiego effettivo, per garantire che mantenga la precisione e l'affidabilità nel tempo.

I requisiti dei tre livelli citati sono trattati con dettaglio dalla norma UNI 11761 che individua tutte le verifiche necessarie per assicurare le prestazioni ottimali degli IOMS in accordo con un protocollo completo di gestione ed utilizzo degli IOMS.

### 3.4.4 Applicazioni degli IOMS in ambito ambientale

Gli IOMS sono impiegati in un'ampia gamma di applicazioni e per diversi settori merceologici, grazie alla loro capacità di rilevare e quantificare in continuo le sostanze odorigene presenti nell'aria. Nel corso degli anni la tecnologia IOMS è stata applicata al

monitoraggio ambientale di diverse attività impiantistiche, in particolar modo discariche, allevamenti avicoli, impianti di produzione di petrolio e gas, impianti di trattamento delle acque reflue.

Nel settore ambientale, la norma tecnica UNI 11761 ne definisce l'impiego in tre ambiti di applicazione:

1. **Monitoraggio dell'aria ambiente (al ricettore)** - Questa applicazione viene utilizzata per valutare l'impatto degli odori sulla qualità dell'aria in aree abitate o sensibili;
2. **Monitoraggio in emissione (sorgente)** - In questo caso, gli IOMS vengono utilizzati per controllare le emissioni odorose direttamente alla sorgente, come parte del processo di controllo o per verificare l'efficienza dei sistemi di trattamento dell'odore;
3. **Monitoraggio al perimetro dello stabilimento** - Questa applicazione prevede il posizionamento degli IOMS lungo il perimetro di un impianto industriale o di un sito produttivo per monitorare e gestire l'eventuale dispersione degli odori verso l'esterno.

### Monitoraggio dell'aria ambiente (al ricettore)

L'impiego degli IOMS in aria ambiente rappresenta la modalità maggiormente utilizzata per la valutazione dell'impatto delle attività a rischio odorigeno sul territorio circostante. Il vantaggio di tali sistemi risiede nella possibilità di monitorare in continuo la qualità dell'aria nelle aree potenzialmente esposte, occupate da ricettori sensibili.

La misurazione degli odori ai ricettori e, quindi, ad una certa distanza dalla sorgente e a concentrazioni più basse, comporta maggiori difficoltà tecniche per la quantificazione e l'identificazione degli odori rispetto alla caratterizzazione della sorgente. Tale considerazione è particolarmente evidente nel caso della presenza di più attività industriali, per cui si rende necessaria l'identificazione della causa della molestia olfattiva e dei relativi contributi. Per tale specifica applicazione, gli IOMS, se opportunamente addestrati, sono in grado di fornire risposte in merito alla presenza/assenza di odore (Misurazione di tipo A), attribuire l'odore percepito a una specifica sorgente di emissione, ovvero a una specifica classe olfattiva (Misurazione di tipo B) e stimare, in termini quantitativi, l'odore rilevato (Misurazione di tipo C). Nell'impiego degli IOMS per il monitoraggio in aria ambiente, particolare attenzione deve essere posta alla valutazione di possibili interferenze dovute alla presenza di più impianti o più sorgenti sul territorio.

Inoltre, per misurazioni di tipo C, fattori quali gli algoritmi usati per la stima della concentrazione, il range di concentrazione di odore investigato e l'influenza delle condizioni ambientali sulla risposta dei sensori sono elementi cruciali per l'analisi. Per poter rappresentare una tecnica di misura efficiente, lo IOMS deve possedere i seguenti requisiti:

- bassa sensibilità a fattori esterni quali umidità, temperatura, velocità del vento e pressione atmosferica;
- stabilità nelle condizioni operative e dopo diversi cicli di esposizione all'odore;
- ripetibilità, facile manutenzione, con possibilità di correzione delle derive (qualora necessario);
- possedere un ampio spettro di percezione dell'odore dal valore soglia fino al valore di saturazione.

Per essere utilizzato su larga scala, deve poter essere facilmente calibrato, avere un tempo di risposta rapida, essere recuperabile e facile da gestire (in termini di autonomia energetica, trasportabilità, robustezza).

### Monitoraggio in emissione (sorgente)

L'impiego degli IOMS in emissione ha lo scopo di rilevare tempestivamente qualsiasi variazione dell'andamento del segnale, valutata direttamente alle sorgenti emmissive. Ciò produce il vantaggio di intervenire rapidamente per mitigare gli eventuali impatti e contestualmente ottimizzare i processi industriali, nell'ottica di identificare, con precisione, le fonti emmissive di odore e mettere in atto misure correttive di riduzione. In questo ambito di applicazione, l'impiego degli IOMS consente di valutare anche l'efficacia dei sistemi di abbattimento adottati (es. scrubber e biofiltri) e, nel caso, di modificarne i parametri operativi di funzionamento.

Gli IOMS possono essere applicati in questo settore al fine di caratterizzare le emissioni, ad integrazione di specifici sensori o misure olfattometriche. Per sviluppare uno strumento capace, ad esempio, di monitorare i sistemi di abbattimento degli odori, è importante verificare la capacità di tali strumenti di discriminare le variazioni di concentrazione dell'odore, che possono verificarsi a causa di un malfunzionamento del sistema e di rispondere con efficacia anche in presenza di un elevato contenuto di umidità che spesso caratterizza la corrente in uscita dai sistemi di abbattimento (scrubber e biofiltri).

L'applicazione degli IOMS all'ambito descritto si configura come funzionale al controllo di processo, consentendo un tempestivo intervento in caso di anomalie dei livelli emissivi presso la sorgente, nell'ottica di prevenire la dispersione di odore presso i recettori.

### Monitoraggio al perimetro dello stabilimento

In questo caso, gli IOMS, posizionati al confine di un impianto industriale o di un sito produttivo, possono monitorare l'eventuale dispersione degli odori verso l'esterno allo scopo di mettere in atto azioni correttive o mitigative del loro potenziale impatto nelle aree circostanti. Un'applicazione di questo tipo rappresenta una strategia di controllo sempre più impiegata nell'ambito del monitoraggio effettuato dai gestori di impianti particolarmente critici dal punto di vista dell'impatto olfattivo generato. La valutazione degli andamenti emissivi registrati in continuo, in alcuni casi, determina la possibilità di definire una soglia di allerta per la concentrazione di odore e/o

per lo/gli specifico/i parametro/i analizzato/i, funzionale all'identificazione di situazioni che potrebbero causare eventi di disturbo. La soglia di allerta, così individuata, può essere anche utilmente impiegata per attivare automaticamente un campionatore di gas per la successiva caratterizzazione mediante analisi olfattometrica e/o chimica. La possibilità di identificare tali tipologie di valori soglia richiede uno studio sito-specifico generalmente volto all'individuazione di una correlazione tra la presenza di odore al perimetro e il verificarsi di episodi di disturbo olfattivo al recettore, in considerazione delle specifiche condizioni meteorologiche.

### 3.5 MONITORAGGIO DELLA PERCEZIONE DELL'ODORE

Il perdurare di eventi di disturbo olfattivo in una determinata area causa spesso proteste e segnalazioni dei cittadini presso gli Enti Competenti (Agenzie per la Protezione dell'Ambiente, Comuni, Polizia Locale, Vigili del Fuoco, Aziende sanitarie ecc...) in quanto la presenza di un odore molesto può rappresentare un indicatore di un ambiente insalubre.

Sebbene non sia stato ancora dimostrato un effettivo rischio per la salute umana, l'esposizione prolungata a cattivi odori può generare alcuni sintomi a livello psico-fisico, quali stati d'ansia, mal di testa, irritazioni agli occhi, problemi respiratori, nausea, etc. (Shiffman, 1998; Sucker et al., 2008; Aatamila et al. 2011). Per questa ragione, le emissioni odorigene sono considerate come una delle più importanti cause di lamentele della popolazione, e possono interferire sulle attività economiche quali attività commerciali, turistiche, con evidenti effetti anche sul contesto sociale in termini di impoverimento della qualità dell'ambiente, svalutazione dei beni e perdita del loro normale uso, nonché incertezza sulla sicurezza (Nicell, 2009).

Le segnalazioni di molestia olfattiva, nella maggior parte dei casi, costituiscono il primo campanello d'allarme per l'individuazione di una potenziale sorgente di odore presente sul territorio. Per questa ragione, negli ultimi anni è stato riconosciuto il ruolo fondamentale ricoperto dalla partecipazione sociale nella gestione di casi complessi di molestia olfattiva, quale strumento per caratterizzare il fenomeno e verificarne la sussistenza (es. indicazioni su frequenza e durata degli episodi odorigeni).

A seconda degli obiettivi e delle opportunità di realizzazione, la letteratura scientifica e alcuni approcci normativi in campo internazionale offrono numerosi esempi di valutazione condotta con l'ausilio di informazioni ottenute da segnalazioni sistematiche della popolazione o attraverso l'applicazione di metodologie standardizzate, che prevedono esaminatori in campo, spesso integrate con determinazioni strumentali o modelli di dispersione (Capelli, 2013).

Tali valutazioni fanno riferimento, quindi, all'impiego di cittadini volontari o di esaminatori addestrati, legittimando l'utilità della partecipazione sociale nella stima dell'impatto odorigeno (Nicolas, 2010).

La promozione e lo sviluppo di tale collaborazione rientrano nei principi di *citizen science*, che ha appunto come obiettivo il coinvolgimento della popolazione in una o più fasi del processo scientifico, in modo da rafforzare l'interfaccia tra scienziati, decisori politici e cittadini, e da incrementare l'alfabetizzazione scientifica e la democratizzazione della scienza.

La *citizen science*, che è una realtà in piena crescita, è un processo virtuoso che garantisce preziose fonti di informazione e può generare società informate e consapevoli. Incoraggiando il coinvolgimento attivo dei cittadini, la *citizen science* rappresenta quindi uno strumento innovativo di ricerca, inclusione sociale, sviluppo sostenibile.

Gli Enti di Controllo si occupano di monitorare e raccogliere le segnalazioni e gli esposti riguardanti episodi di molestia olfattiva provenienti dal territorio; la raccolta delle segnalazioni può, infatti, avvenire con modalità diverse, via e-mail o mediante specifiche app o form online dedicati.

In generale, le metodologie finalizzate a valutare la risposta e l'esposizione della popolazione hanno l'intento di trovare correlazioni attendibili con le attività presenti sul territorio e determinare l'estensione geografica e/o temporale della problematica denunciata. Si possono distinguere due approcci:

- da adottare contestualmente all'evento;
- da pianificare per uno studio sistematico del fenomeno.

Le metodologie da adottare contestualmente all'evento non possono prescindere dalla collaborazione della popolazione che vive una condizione di disagio. La promozione e lo sviluppo di tale collaborazione rientrano, a pieno titolo, nei principi della *citizen science*.

La possibilità di effettuare un intervento al momento dell'evento, d'altronde, prevede la necessità di adottare un sistema che consenta in tempo reale, o più realisticamente in *near real time*, di acquisire le segnalazioni da parte della popolazione e procedere ad una loro validazione. Le metodologie da adottare al momento dell'evento si basano in genere sull'utilizzo di un sistema avanzato di recepimento delle segnalazioni, ad esempio web o app based, che possa eventualmente consentire la definizione di soglie di allarme, funzionali all'attuazione dell'attività di intervento. Quest'ultimo può prevedere l'impiego di campionatori automatici per il prelievo di campioni gassosi (da avviare a successiva analisi olfattometrica e/o chimica) effettuato contestualmente all'evento odorigeno e/o la valutazione degli andamenti delle concentrazioni registrate da analizzatori in continuo (es. CH<sub>4</sub>/NMHC, H<sub>2</sub>S, VOC e NH<sub>3</sub>, IOMS), se presenti sul territorio o presso gli impianti ritenuti critici.

Per pianificare lo studio sistematico del fenomeno olfattivo, posto che lo stesso sia pressoché costante nel tempo, si possono adottare le seguenti alternative:

- raccolta sistematica delle segnalazioni della popolazione residente;
- monitoraggio in campo tramite un panel di esaminatori, secondo il metodo della field inspection (UNI EN 16841).

Di norma, tali indagini vengono abbinate alle rilevazioni dei principali parametri meteorologici che influenzano la propagazione degli odori (direzione e velocità del vento) al fine di validare e contestualizzare le informazioni ottenute, nonché eventualmente alle analisi di caratterizzazione chimica.

### 3.5.1 Modalità di recepimento delle segnalazioni della popolazione residente tramite sistemi *web-based*

Negli ultimi anni, le modalità adottate per il recepimento delle segnalazioni hanno progressivamente subito un'evoluzione verso sistemi più avanzati ed automatizzati allo scopo di favorire una valutazione e un'elaborazione più puntuale dei dati provenienti dal territorio ed individuare situazioni di molestia olfattiva. L'informatizzazione della raccolta delle segnalazioni di disturbo olfattivo e la creazione di un data base consente, infatti, di effettuare un accurato studio per l'individuazione delle più probabili sorgenti e delle aree territoriali maggiormente interessate alla criticità.

In tal senso, la predisposizione di form *on-line* dedicati e/o di piattaforme *web-based* è stata considerata una strategia funzionale alla rilevazione tempestiva dell'evento odorigeno in corso, particolarmente adottate dagli Enti anche per la possibilità di stabilire misure di intervento pressoché immediate. In particolare, l'impiego di un sistema di questo tipo, come ad esempio una web App, permette di raccogliere in tempo reale le segnalazioni delle molestie olfattive e di relazionarle, in forma georeferenziata, al territorio monitorato. In molte applicazioni di questo tipo, quando il numero di segnalazioni supera una definita soglia critica (che costituisce una conferma della presenza della molestia olfattiva), è prevista l'attivazione di un'attività di campionamento dell'aria tramite campionatori automatici installati nelle aree monitorate, che consentono quindi un intervento in *near real time*.

La soglia critica delle segnalazioni rappresenta un valore arbitrario definito nell'unità di tempo nell'ambito di un determinato territorio (in genere area comunale), scelto sulla base di considerazioni legate all'esperienza e alla realtà territoriale stessa. In alcuni casi, quando le segnalazioni provengono da segnalatori registrati e accreditati (personale del Comune, della Protezione Civile, appartenenti ad associazioni ambientaliste di riferimento, ...), individuate quali *sentinelle*, può essere sufficiente anche una sola segnalazione per avviare l'attività di campionamento.

I sistemi di recepimento descritti consentono, generalmente, di indicare intensità e tipologia dell'odore percepito, mediante descrittori qualitativi, nonché informazioni in un campo "note" per eventuali osservazioni.

Inoltre, alcune web App permettono di riprodurre le cosiddette "retro-traiettorie" a partire dalle segnalazioni dei cittadini, ossia le polilinee che identificano il percorso a ritroso compiuto dalle masse d'aria in considerazione dell'area di provenienza delle segnalazioni. Nello specifico, a partire dalle segnalazioni pervenute alla web App, le elaborazioni modellistiche basate sulla ricostruzione dei campi meteorologici sono in grado di fornire, in tempo reale, la migliore approssimazione delle traiettorie compiute dalle masse d'aria in atmosfera, tracciando il loro percorso all'indietro, partendo dall'istante e dalla posizione georeferenziata delle segnalazioni. Le "retro-traiettorie" possono essere particolarmente significative in aree in cui sono presenti molte attività produttive e comunque sono un utile strumento per oggettivare le molestie olfattive percepite dai cittadini.

L'impiego dei sistemi *web based* da parte dei cittadini richiede un costante contatto con la popolazione per fornire informazioni sulla metodologia adottata e sui criteri utilizzati nonché sui risultati eventualmente conseguiti, al fine di promuovere una sensibilizzazione sulla problematica, con l'intento di realizzare un rapporto di fiducia tra i cittadini e le istituzioni. Il rischio di questa modalità è rappresentato, infatti, dalla disaffezione della popolazione che renderebbe inapplicabile tale metodologia; in aggiunta, poiché lo studio e l'oggettivazione della molestia olfattiva non sempre determina, a breve termine, l'eliminazione del problema segnalato e, quindi, la risposta attesa dalla popolazione, esso costituisce un elemento critico da tenere in debita considerazione. Tale aspetto può rendere problematica l'applicazione, a lungo termine, della metodologia in una stessa area.

### 3.5.2 Raccolta sistematica delle segnalazioni della popolazione residente

Un approccio di raccolta sistematica delle segnalazioni viene applicato nei casi in cui si verifica una situazione di disagio olfattivo ciclico e periodico. Sono, pertanto, esclusi i casi in cui il disagio olfattivo ha caratteristiche di eccezionalità (es. segnalazioni di episodi acuti di inquinamento a seguito di emergenze ambientali).

L'obiettivo finale di questo genere di indagine è quello di determinare in modo oggettivo la presenza o meno del fenomeno di molestia, stimandone l'entità (in termini di numero di episodi e durata) e, quindi, di definire la necessità di ulteriori gradi di approfondimento.

Per avviare l'attività di raccolta sistematica delle segnalazioni è necessario provvedere a reclutare i segnalatori o sentinelle all'interno del territorio coinvolto nella problematica di odore molesto.

Gli aspetti da considerare nell'individuazione delle sentinelle sono:

- Cittadini volontari, residenti in prossimità della sorgente oppure incaricati di Enti pubblici;
- Distribuzione omogenea nel territorio;
- Numero significativo (robustezza statistica);
- Affidabilità e imparzialità;
- Formazione/informazione;
- Responsabilizzazione e coinvolgimento attivo nel monitoraggio e negli esiti finali;
- Garanzia dell'anonimato e tutela della privacy.

È necessario valutare che le sentinelle non si assentino per periodi prolungati durante lo svolgimento della campagna, che evitino di fare segnalazioni falsate da accordi comuni e che segnalino in modo più verosimile possibile e con serietà, evitando segnalazioni di lunga durata, continuativamente per molte ore o addirittura giorni. Il processo di validazione è volto specificatamente all'eliminazione di quelle segnalazioni dubbie o inverosimili. Infine, va considerato che campagne di monitoraggio molto lunghe oppure in cui non vi sia un giusto grado di coinvolgimento della popolazione rischiano di andare incontro a fenomeni di disaffezione (riduzione delle segnalazioni non collegata ad un miglioramento della condizione legata alla molestia).

Per quanto riguarda la durata della campagna di monitoraggio si fa riferimento alle indicazioni contenute nell'allegato 3 del Decreto n. 309 del 28.06.2023 MASE "Indirizzi per l'applicazione dell'articolo 272-bis del D.Lgs 152/2006 in materia di emissioni odorigene di impianti e attività".

Le segnalazioni di odore da parte dei cittadini, in formato cartaceo o digitale, devono contenere informazioni chiare in riferimento al periodo in cui si è percepito l'odore e, se possibile, alla tipologia e all'intensità. È buona prassi predisporre un campo "note" per aggiungere qualsiasi ulteriore informazione utile alla interpretazione dell'evento (esempio: "odore a folate").

Poiché i dati meteo sono indispensabili per interpretare le segnalazioni di odore pervenute e quindi nel determinare l'esito finale della campagna, è molto importante assicurarsi di poter far affidamento su dati consolidati, idonei e condivisi da tutte le parti coinvolte, prima dell'avvio della campagna di monitoraggio.

L'allegato 3 del Decreto MASE n. 309/2023 fissa i requisiti minimi per le caratteristiche della stazione meteo:

- registrazione almeno di velocità e direzione del vento almeno oraria;
- quota  $\geq 5$  m;
- distanza dal sito di indagine compatibile con l'orografia.

Inoltre, prima dell'avvio del monitoraggio, dovrebbero essere verificati i dati storici registrati (in caso di stazioni fisse) allo scopo di stabilire se una delle stazioni della rete fissa possa essere utilizzata come riferimento per la campagna; diversamente dovrà essere utilizzata una stazione mobile da posizionare in luogo idoneo.

Nella scelta del dato da utilizzare, è sempre bene tener conto che:

- la frequenza del dato meteo deve essere confrontabile con il tempo minimo delle segnalazioni;
- i dati relativi al vento (direzione e velocità) devono essere espressi preferibilmente in formato numerico per agevolare il processo di validazione;
- il dato prodotto dalla stazione meteo è maggiormente rappresentativo tanto più questa è posta in prossimità della zona di emissione o esposizione specialmente in aree con orografia complessa o fortemente edificate.

Come precedentemente specificato, le segnalazioni raccolte devono essere sottoposte ad un processo di validazione che ne attesti la veridicità. In sintesi, è bene verificare se gli episodi di odore si sono manifestati mentre il segnalatore si trovava "sottovento" all'impianto ritenuto responsabile della molestia; per esempio, risultano poco realistiche le segnalazioni che durano per un tempo eccessivamente prolungato, determinate da interessi di parte o accompagnate da descrizioni/note non idonee.

Sulla base delle indicazioni contenute nell'allegato 3 del Decreto n. 309 del 28.06.2023 MASE, quando le ore di percezione di odore nell'area, derivanti dalla somma dei tempi ascrivibili agli eventi validati, risultano superiori al 2% rispetto all'intero periodo di monitoraggio, il disturbo si ritiene non accettabile e richiede ulteriori approfondimenti.

### 3.5.3 Monitoraggio in campo mediante panel addestrato

Alcuni provvedimenti internazionali, applicati soprattutto in Germania, considerano l'impiego di esaminatori addestrati quale metodo affidabile per la valutazione dell'impatto olfattivo di una sorgente industriale in aria ambiente. In particolare, si fa riferimento alla norma tecnica tedesca VDI 3940:2006 per la descrizione della metodologia, denominata *Field Inspection*. Tale metodologia è stata oggetto della norma tecnica Europea, recepita in Italia nel 2017 come UNI EN 16841- 1:2017 e UNI EN 16841- 2:2017. La norma tecnica descrive due metodi di applicazione della Field Inspection: metodo a griglia e metodo del pennacchio.

### 3.5.3.1 Metodo a griglia

Il metodo a griglia definisce il livello di esposizione all'odore rilevato in una definita area di studio, attraverso il calcolo di un indice quantitativo, definito "frequenza di ore-odore". Tale indice è determinato per ogni cella di una griglia virtuale costruita sul territorio intorno all'impianto oggetto di indagine, in cui i vertici costituiscono i quattro punti di osservazione.

L'area di valutazione viene definita prima dell'inizio delle campagne di misura e il grigliato virtuale è scelto con maglie da 100 a 300 metri di lato. Ogni vertice del grigliato rappresenta un punto di osservazione in cui esaminatori selezionati (almeno 10) si recano e rilevano la presenza e la tipologia dell'odore riconosciuto (in accordo con una lista definita) ogni 10 secondi per un tempo di 10 minuti (si raccolgono, quindi, 60 campioni in 10 minuti). Ciascun punto di misura viene ripetutamente valutato ad intervalli regolari per una durata di un anno di indagine; viene raccomandato di effettuare un numero totale di 104 singole misure per ciascuna cella di valutazione (26 singole misure per ciascun punto). Sono possibili campagne di indagine più brevi, ma comunque non inferiori a 6 mesi, garantendo un minimo di 52 singole misure per ciascuna cella (13 misure per ciascun punto). In quest'ultimo caso, devono essere equamente rappresentati i mesi più caldi e più freddi. In ogni caso, è necessario effettuare una pianificazione delle uscite in modo che stagioni, giorni della settimana e ore del giorno siano equamente distribuite, indipendentemente dalle condizioni meteorologiche (e dal parametro direzione del vento), che devono accompagnare la misura. Per ciascun vertice della maglia viene calcolato il numero di ore-odore, pari al numero di risposte positivi rispetto al numero totale di misure; la frequenza dell'odore in ciascuna cella è, quindi, calcolata come rapporto tra la somma delle segnalazioni di odore sui 4 vertici ed il totale delle misurazioni eseguite nei quattro vertici (espresso in %). Un riferimento diffuso sui limiti di accettabilità viene riportato dalle linee guida sull'odore in aria ambiente tedesche «Guideline on Odor in Ambient Air - GOAA» del 2008 espressi come percentuale di ore-odore annue in base alla tipologia di recettore.

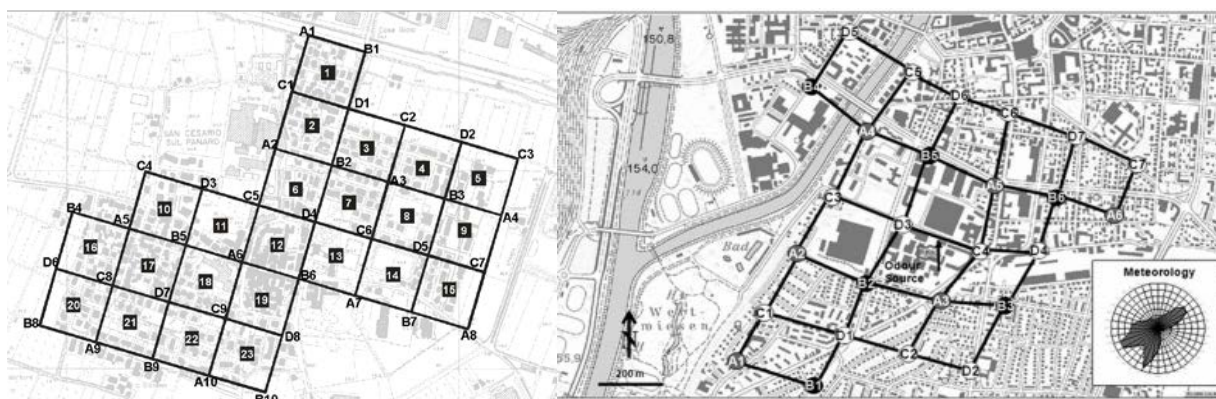
Tabella 3.1: Limiti di accettabilità per Odour Field Inspection, secondo le linee guida tedesche «Guideline on Odor in Ambient Air - GOAA»

Tipologia di recettore	Ore-odore/anno (%)
Zona residenziale o mista	10
Zona industriale o agricola	15

In sostanza, il metodo si basa su un'indagine statistica, riferita ad un periodo sufficientemente lungo, e permette di ottenere una mappa rappresentativa dell'esposizione ad un odore riconosciuto, distribuito su un'area di valutazione.

In Figura 3.6 sono mostrati esempi di grigliati costruiti sull'area di indagine.

Figura 3.6: Esempi di grigliati su mappa



### 3.5.3.2 Metodo del pennacchio

Il metodo del pennacchio viene utilizzato per determinare l'estensione del pennacchio di ricaduta dell'odore, a partire da una sorgente specifica, esaminando le condizioni meteorologiche che influenzano la dispersione.

L'estensione del pennacchio di odore è definita dai punti in cui avviene la transizione tra presenza e assenza di odore (SI/NO), valutata da esaminatori addestrati che si dispongono a valle, rispetto alla direzione del vento, a distanze diverse dalla sorgente.



I risultati sono tipicamente utilizzati per determinare un'estensione plausibile dell'esposizione potenziale a odori o stimare il flusso emissivo totale usando l'applicazione inversa "Reverse model" dei modelli di dispersione (Schaubeger, 2011; Van Elst, 2016).

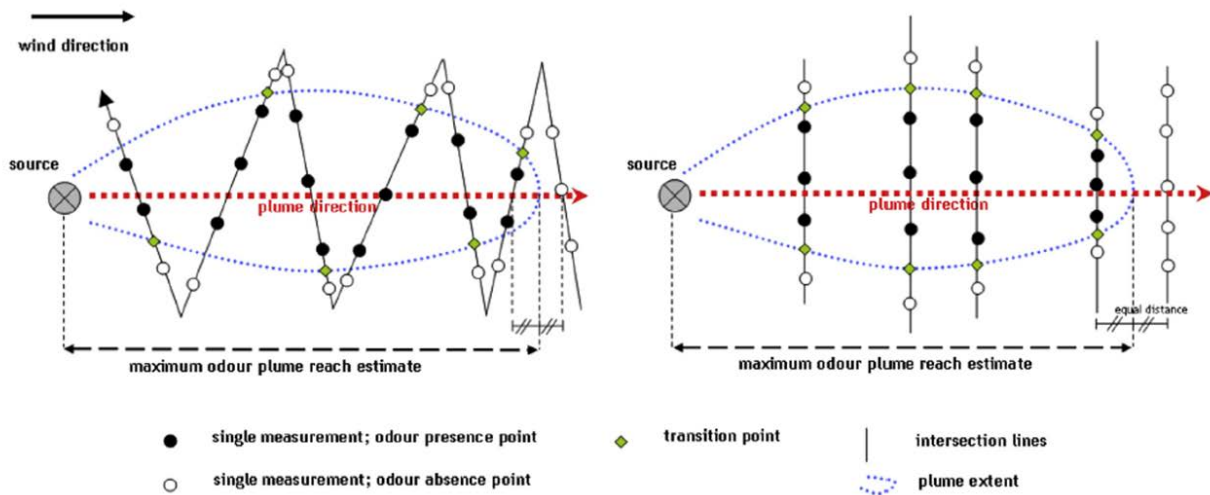
Il metodo include due approcci: *metodo stazionario* e *metodo dinamico*.

Secondo il principio del metodo stazionario, un ciclo di misura dovrebbe consistere di almeno 20 singole misure (4 linee di intersezione ciascuna con 5 punti di misura) dalle quali possono essere determinati almeno 6 punti di transizione. Gli esaminatori effettuano la valutazione in diversi punti su assi perpendicolari alla direzione del pennacchio. La stima dell'estensione massima del pennacchio si determina dalle osservazioni ottenute da due linee di intersezione, in cui la prima deve includere almeno un punto di osservazione di presenza di odore e la seconda deve registrare solo punti di osservazione di assenza di odore.

La distanza tra la linea di intersezione in cui sono osservati punti di assenza di odore e la più vicina linea di intersezione che contiene, invece, punti di presenza di odore, dovrebbe essere inferiore al 20% dell'estensione massima del pennacchio di odore.

Secondo il principio del metodo dinamico, un ciclo di misura dovrebbe essere condotto da almeno due esaminatori addestrati, che contribuiscono in parti uguali ai singoli risultati di misura e che compiono un tragitto a zig-zag attraverso il pennacchio. In questo caso, il ciclo di misurazione dovrebbe includere almeno 40 singole misure, dalle quali possono essere determinati almeno 20 punti di transizione (assenza di odore). La stima dell'estensione massima del pennacchio si determina dalle osservazioni ottenute durante due intersezioni, in cui una contiene almeno un punto di osservazione con presenza di odore e l'altra punti di assenza di odore. La distanza tra l'intersezione in cui sono osservati punti di assenza di odore e la più vicina intersezione che contiene punti di presenza di odore dovrebbe essere inferiore al 20% dell'estensione massima del pennacchio di odore (Figura 3.7).

Figura 3.7: Rappresentazione grafica del metodo del pennacchio



Il metodo del pennacchio fornisce una risposta sensoriale che può essere relazionata alla predizione del modello nelle condizioni emissive e meteorologiche registrate al momento della prova. In questo caso una giornata è sufficiente per l'esecuzione della prova. Il metodo della Field Inspection è spesso integrato con l'applicazione dei modelli a dispersione al fine di confrontare e validarne i risultati (Ranzato, 2012; Eusebio, 2013; Capelli, 2013).

È importante sottolineare che tali approcci non forniscono valutazioni relative alla molestia ma indici di esposizione; la relazione tra esposizione e molestia non è ancora definita e rimane, al momento, oggetto di studio.

## 4. MODELLI DI DISPERSIONE PER LA VALUTAZIONE DI IMPATTO OLFATTIVO

### 4.1 INTRODUZIONE

Il presente capitolo è strutturato in due parti:

- nella prima, viene fornito un inquadramento generale sui modelli di dispersione atmosferica e le loro principali tipologie con un focus specifico sulle caratteristiche tecniche dei modelli tipicamente impiegati nelle valutazioni di impatto odorigeno (da paragrafo 4.2 a 4.4);
- nella seconda, viene effettuato un richiamo ai contenuti tecnici degli "Indirizzi Nazionali" in materia di emissioni odorigene che trattano specificamente gli aspetti relativi ai "Requisiti degli studi di impatto olfattivo mediante simulazione di dispersione", in Allegato A.1 del Decreto (MASE 2023), e vengono indicate le fasi tipiche della valutazione dell'impatto odorigeno che presuppongono la possibile applicazione di una simulazione modellistica (paragrafo 4.5).

A livello internazionale, l'importanza fondamentale della modellistica di dispersione nel processo di valutazione dell'impatto odorigeno è stata evidenziata da una recente pubblicazione prodotta da International Environmental Society of Odour Managers (Amigo & Olores org, 2023). In Italia, il ruolo centrale della modellistica atmosferica nel processo di autorizzazione e valutazione di impianti ed attività con potenziali impatti olfattivi è stato evidenziato e ribadito dagli "Indirizzi Nazionali" emessi dal Ministero dell'Ambiente.

### 4.2 I MODELLI DI DISPERSIONE ATMOSFERICA

I fenomeni naturali e i sistemi fisici sono caratterizzati da un'estrema complessità. In essi intervengono numerose variabili, intrinsecamente connesse in modo non lineare. In generale, un modello è una rappresentazione schematica e semplificata della realtà fisica, che viene descritta attraverso un insieme di equazioni che simulano il comportamento della natura. Definito un modello di un sistema reale, è possibile studiare le sue proprietà per comprendere e prevedere l'evoluzione stessa del sistema e le relazioni tra le sue variabili. In tal modo si può ottenere una stima dell'evoluzione della realtà a cui il modello si riferisce.

La risoluzione di equazioni matematiche che descrivono un sistema fisico attraverso l'uso di elaboratori elettronici costituisce un modello numerico. In particolare un modello numerico di dispersione di inquinanti in atmosfera è uno strumento che cerca di ricostruire il più fedelmente possibile lo stato della concentrazione dei vari inquinanti in un dominio di calcolo spazio temporale di interesse.

L'importanza della modellistica di dispersione e trasformazione degli inquinanti in atmosfera è evidenziata dall'uso crescente che ne viene richiesto dalle varie disposizioni legislative, linee guida, regolamenti ecc. in materia di controllo ambientale.

È evidente che il controllo della qualità dell'aria attraverso le reti di monitoraggio, che forniscono misure puntuali di inquinamento, non sempre risulta essere esaustivo. Gli strumenti modellistici permettono di ottenere informazioni aggiuntive sullo stato di inquinamento atmosferico presente sul territorio. È dunque auspicabile un uso integrato delle due tecniche.

In generale, i modelli di dispersione degli inquinanti in atmosfera sono utili strumenti che permettono di:

- ottenere campi di concentrazione spazialmente distribuiti;
- ottenere informazioni sulle relazioni tra emissioni ed immissioni, discriminando tra i contributi delle diverse sorgenti;
- valutare l'impatto di inquinanti non misurati dalla rete di monitoraggio;
- studiare scenari ipotetici di emissione alternativi rispetto al quadro attuale o passato;
- prevedere l'impatto per progetti non ancora realizzati, verificando preventivamente il rispetto di eventuali criteri di accettabilità, la presenza di criticità, la configurazione ottimale delle sorgenti emissive;
- avendo a disposizione le previsioni meteorologiche, prevedere eventuali criticità legate ad uno scenario emissivo, così da poter mettere in atto misure di gestione e contenimento finalizzate a minimizzare gli impatti;
- fornire mappe di impatto in tempi brevi, utili durante le situazioni accidentali e gli interventi di emergenza.

L'approccio analitico impiegato nella costruzione dei modelli che descrivono la dinamica atmosferica permette di suddividerli in due grandi famiglie:

- i *modelli deterministici*, ampiamente diffusi, che descrivono matematicamente i processi che avvengono nel sistema atmosfera attraverso la formalizzazione di relazioni di causa-effetto sviluppate secondo procedimenti teorici;
- i *modelli stocastici*, che simulano i processi che avvengono in atmosfera attraverso procedimenti di calibrazione, sulla base dei dati sperimentali del passato, di relazioni statistiche tra le variabili che intervengono nel fenomeno.

I modelli deterministici si suddividono a loro volta in due classi, in funzione del diverso modo di osservare e descrivere le proprietà dell'atmosfera:

- i *modelli euleriani* che fanno riferimento ad un sistema di coordinate fisse;

- i *modelli lagrangiani* che si basano su un sistema di riferimento mobile, che segue gli spostamenti delle masse d'aria di cui si vuole riprodurre il comportamento.

Tra i modelli euleriani rientrano i modelli gaussiani che integrano l'equazione generale di trasporto e diffusione sotto le ipotesi di stazionarietà ed omogeneità delle condizioni meteorologiche, velocità del vento non nulla, assenza di trasformazioni chimiche e fenomeni di rimozione, terreno piatto.

I modelli lagrangiani possono essere a puff e a particelle: i primi estendono i modelli gaussiani a condizioni non omogenee e non stazionarie; nei secondi si simula l'emissione degli inquinanti con la generazione di un certo numero di particelle virtuali che vengono emesse ad ogni passo temporale. Il calcolo della concentrazione è poi ricostruito valutando il numero di particelle in un certo volume di atmosfera.

Si ricordano infine i modelli al recettore che, considerando le concentrazioni osservate presso un punto recettore, stimano i contributi delle diverse fonti di emissione.

A seconda della realtà che si intende studiare, è necessario effettuare un attento ed approfondito esame dello scenario che si vuole modellare e delle risorse disponibili, così da poter scegliere il modello numerico più adatto agli scopi.

Per poter scegliere in modo adeguato gli strumenti modellistici da utilizzare, occorre individuare ed analizzare accuratamente le caratteristiche del problema che si intende affrontare. La scelta del modello è legata, oltre che alla tipologia del problema in esame, anche al rispetto di alcuni vincoli esterni, quali il budget e le risorse di calcolo disponibili, l'effettiva disponibilità dei dati di input, le competenze necessarie per portare avanti lo studio.

Le principali caratteristiche che concorrono alla definizione del problema e quindi alla scelta dello strumento modellistico più adatto sono:

- la scala spaziale della simulazione (locale, regionale, mesoscala, ecc...);
- la scala temporale (ore, giorni, mesi, anni);
- le caratteristiche del dominio di simulazione (terreno pianeggiante, orografia complessa, sito rurale o urbano, ecc...);
- il tipo di inquinante di cui simulare la dispersione (particolato, gas, primario, secondario, inerte e meno);
- la variabilità spazio temporale delle variabili meteorologiche nel dominio di calcolo (omogeneità, stazionarietà);
- le sorgenti emissive e la loro variabilità temporale (sorgenti puntuali, lineari, areali, volumetriche ad emissione costante o variabile).

I tipici dati di input di un modello di dispersione degli inquinanti in atmosfera comprendono le caratteristiche fisiche delle sorgenti emissive, le caratteristiche degli inquinanti emessi, le variabili meteorologiche, le caratteristiche topografiche e di uso del suolo. Forniti i dati in ingresso, il modello calcolerà le concentrazioni degli inquinanti sul dominio di calcolo prescelto e mediate su un intervallo di tempo almeno pari alla risoluzione temporale dei dati meteorologici disponibili, che solitamente sono forniti a cadenza oraria. Si parla di simulazioni a breve termine se le concentrazioni in output vengono restituite per ogni intervallo minimo di dati meteo disponibili (generalmente ogni ora), di simulazioni a lungo termine se le concentrazioni vengono mediate sull'intero set di dati meteorologici forniti in input (ad es. un giorno, un mese, un anno). Oltre alle mappe di concentrazione sull'intero dominio, solitamente i modelli possono fornire output anche in corrispondenza di particolari punti recettori.

### 4.3 LE CARATTERISTICHE TECNICHE SPECIFICHE DEI MODELLI DI DISPERSIONE ODORIGENA

La dispersione delle sostanze odorigene è strettamente connessa alle caratteristiche dell'atmosfera e viene trattata, analogamente a quanto si fa per la qualità dell'aria, come un problema legato al trasporto e alla dispersione di sostanze gassose in atmosfera. La modellistica della dispersione atmosferica è quindi considerata uno strumento di supporto fondamentale per lo studio e la ricostruzione dell'impatto odorigeno. Tuttavia, l'utilizzo dei modelli "classici" di dispersione atmosferica per la caratterizzazione degli impatti odorigeni presenta alcune criticità. È noto infatti che la percezione dell'odore avviene in un breve intervallo di tempo, riconducibile essenzialmente al singolo atto respiratorio (pochi secondi che considerano l'inspirazione, la percezione del sistema olfattivo e la traduzione in effetto sensoriale da parte del sistema nervoso, che è stata convenzionalmente fissata in un intervallo temporale pari a 5 s). La tipica valutazione di impatto atmosferico effettuata con i "classici" modelli di dispersione tratta gli inquinanti "non odorigeni" essenzialmente in termini di media oraria (e stratificazioni temporali giornaliere o annuali). Dunque la caratteristica distintiva e più peculiare dell'utilizzo dei modelli di dispersione per le sostanze odorigene risiede nella necessità e nella difficoltà, sia di tipo teorico che operativo, di riuscire a valutare in modo appropriato le concentrazioni odorigene di picco a breve termine.

Tutti questi aspetti specifici implicano che la valutazione di impatto olfattivo, per essere efficace, deve in qualche modo ricostruire le concentrazioni di odore a brevissimo termine e quindi, dal punto di vista della modellistica, è necessario concepire un metodo di calcolo che permetta di stimare le fluttuazioni a breve termine delle concentrazioni di odore oppure applicare un fattore di correzione (**peak-to-mean ratio**) che descriva al meglio le concentrazioni odorigene a breve termine e l'entità dei conseguenti impatti sui potenziali recettori.

Ad oggi vengono applicate varie tecniche di correzione, più o meno complesse, per stimare le concentrazioni odorigene istantanee.

E' di prassi comune, almeno in Italia, considerare un valore del peak-to-mean 'statico' cioè un fattore moltiplicativo costante di post-processing delle medie orarie prodotte dal modello. Esistono tuttavia approcci alternativi che internalizzano il calcolo del peak-to-mean nell'algoritmo del modello e stimano un fattore moltiplicativo 'dinamico', variabile nel tempo e nello spazio in funzione di altri parametri quali stabilità atmosferica, tempo di volo, tempo lagrangiano.

Evidenze di letteratura scientifica affermano che l'utilizzo di un peak-to-mean 'statico' tende a sottostimare i valori di concentrazione odorigena nel campo vicino rispetto all'utilizzo di un peak-to-mean 'dinamico' (Schauberg & Piring, 2012).

La più recente letteratura tecnica suggerisce che i modelli tridimensionali di tipo Lagrangiano, basati su puff e particelle siano, almeno da un punto di vista strettamente operativo, la scelta raccomandata o preferibile per affrontare il problema della valutazione dell'esposizione agli odori.

I modelli lagrangiani infatti funzionano bene sia per condizioni omogenee e stazionarie, sia per condizioni non omogenee e non stazionarie, e nel caso di frequenti condizioni di vento debole od assente.

Pur fornendo una descrizione particolarmente semplificata della realtà, i modelli gaussiani possono essere utilizzati per simulare la dispersione in condizioni omogenee e stazionarie; tali strumenti hanno il vantaggio di essere di semplice implementazione e di consentire veloci calcoli ripetuti.

Oltre ai semplici modelli di provata efficacia più diffusamente utilizzati per la modellistica di dispersione atmosferica, esistono altri approcci che forniscono, almeno in linea teorica, delle possibili risposte al problema della valutazione delle concentrazioni odorigene di picco a breve termine.

I modelli fluidodinamici computazionali (CFD), secondo quanto riportato da alcuni autori, stanno diventando sempre più utili nel campo della valutazione degli odori e sono progrediti in modo significativo nell'ultimo decennio, anche se rimangono di fatto molto onerosi in termini computazionali ed operativi per affrontare la simulazione di un intervallo temporale annuale (così come richiesto dagli studi di impatto odorigeno).

Vi sono inoltre "nuovi" approcci, di tipo "avanzato", almeno allo stato attuale, che sono in una fase di attiva ricerca e sviluppo e, fatta eccezione per pochi casi applicativi, non trovano per ora una traduzione operativa nella comune pratica delle valutazioni di impatto odorigeno. Si citano ad esempio modelli di trasporto della varianza, modelli a pennacchio fluttuante, modelli di micromixing, modelli lagrangiani a due particelle.

Si rimanda ai contenuti del manuale "International Handbook on the Assessment of Odour Exposure using Dispersion Modelling" (Amigo & Olores org, 2023) per approfondimenti relativi all'utilizzo delle varie tipologie di modelli di dispersione di inquinanti in atmosfera applicati alla dispersione degli odori e alle metodologie di correzione per passare dalle concentrazioni medie a quelle istantanee.

#### 4.4 IL RUOLO DEI MODELLI DI DISPERSIONE NELLE VALUTAZIONI DI IMPATTO ODORIGENO

I modelli di dispersione atmosferica rappresentano uno strumento di tipo matematico che, nell'ambito delle valutazioni di impatto odorigeno, permette di stabilire una relazione di causa-effetto tra l'emissione di una determinata sorgente ed il recettore finale, attraverso la simulazione dei fenomeni di trasporto e diffusione turbolenta di determinati composti di tipo odorigeno.

Le difficoltà nel risolvere in modo completo e corretto questo processo sono ben note e risiedono essenzialmente nelle incertezze e nelle approssimazioni presenti nei dati utilizzati in ingresso ai modelli (meteorologia, orografia, uso del suolo, stima dei termini di sorgente) e soprattutto nell'intrinseca variabilità dei fenomeni di tipo stocastico (casuale) che tipicamente caratterizzano l'atmosfera (Amigo & Olores.org, 2023). Fatte presenti queste limitazioni, la stima modellistica che permette di calcolare l'impatto di una specifica sorgente è, di fatto, l'unico strumento operativo che garantisce un risultato valido, ammesso che sia stata fatta una corretta descrizione delle variabili sopra ricordate, considerato che altri metodi di valutazione di tipo "statistico" non riescono a valutare in modo appropriato e completo la non linearità dei processi atmosferici quali, ad esempio: la variazione della direzione del vento, o il passaggio veloce da condizioni di stabilità a quelle di instabilità atmosferica, la trasformazione chimica subita dalle differenti sostanze in esame.

Per lo studio delle emissioni odorigene sono disponibili sistemi modellistici caratterizzati da un differente livello di complessità (e gestione operativa), che dal punto di vista teorico e pratico forniscono la possibilità di ottenere una valutazione quantitativa della dispersione degli odoranti e del conseguente impatto sul territorio (recettori).

I modelli di dispersione possono essere utilizzati in differenti contesti e con differenti finalità e rappresentano gli strumenti essenziali per stimare sia l'impatto di nuovi progetti di insediamenti industriali o attività che non sono ancora presenti sul territorio, sia per quelli già attivi che subiscono delle variazioni più o meno significative del layout impiantistico e/o del loro eventuale assetto gestionale ed operativo. In funzione delle emissioni che caratterizzano la sorgente oggetto di valutazione è possibile stimare in via previsionale la concentrazione degli inquinanti odorigeni a livello del suolo (presso i recettori), incluso sia la variabilità spaziale nelle vicinanze del sito di indagine sia quella temporale (giorno/notte, giorno lavorativo/festivo, settimanale, stagionale).

In particolare, per i nuovi impianti ed attività, l'utilizzo dei modelli di simulazione permette di:

- verificare che gli standard di riferimento esistenti alle emissioni garantiscano i valori di accettabilità ai recettori;

- predire il possibile disturbo o molestia olfattiva presso la popolazione residente nei pressi di un impianto o attività in relazione alle condizioni meteorologiche ed alle caratteristiche emissive della sorgente;
- valutare l'effetto di configurazioni alternative di un determinato impianto o attività per definirne l'assetto ottimale in grado di minimizzare l'impatto presso i recettori (ad esempio, dimensionamento del camino o dell'areale di emissione, implementazione di sistemi di abbattimento).

Per gli impianti e le attività che sono già presenti ed operativi sul territorio, l'utilizzo dei modelli di simulazione permette di:

- fornire una valutazione della conformità ai criteri di accettabilità in funzione delle condizioni emissive a regime o nell'ambito di condizioni meteorologiche particolari che non sono state eventualmente considerate nella fase autorizzativa;
- fornire elementi decisionali utili nell'interpretazione della possibile origine di un disturbo o molestia olfattiva, anche in termini cumulativi rispetto ad altre sorgenti presenti nel territorio considerato, individuando i fattori maggiormente critici (meteorologia, emissioni, effetto degli edifici circostanti);
- simulare l'effetto ambientale di cambiamenti nel layout dell'impianto o dell'attività che si sono resi necessari a seguito di prescrizioni autorizzative e/o tecniche-gestionali;
- predire situazioni di criticità legate alla dispersione di odore in condizioni meteorologiche sfavorevoli e quindi garantire una ottimale gestione dell'impianto o dell'attività attraverso l'attivazione di possibili misure di contenimento dell'impatto; cioè, in altri termini, la costruzione di un sistema di gestione preventiva delle possibili criticità odorigene che viene messo a disposizione del management aziendale per prevenire o limitare situazioni di disturbo o molestia olfattiva per i lavoratori e/o per la popolazione residente;
- definire un "sistema di allerta" da utilizzare in situazioni di eventi incidentali in grado di fornire in brevissimo tempo (*near-real-time*) la rappresentazione su mappa delle possibili zone di massimo impatto, in particolare per gli impianti e le attività che, oltre agli effetti odorigeni, hanno un potenziale di impatto connesso all'impiego di sostanze chimiche di tipo pericoloso;
- individuare il contributo relativo delle differenti sorgenti presenti ed operanti sul territorio al fine di valutare il loro impatto differenziale, distinguendo i possibili effetti sia nello spazio che nel tempo;
- stimare il termine di sorgente nel caso in cui risulti di difficile quantificazione o sia del tutto ignoto, cioè in altri termini, utilizzare i dati meteorologici per "invertire" l'integrazione nel tempo e nello spazio per risalire alla quantità emessa che ha determinato le concentrazioni ambientali (note o presunte); si tratta, quindi, di una applicazione di "modellistica inversa" di non facile realizzazione operativa che evidenzia spesso notevoli criticità in assenza di informazioni precise sulla localizzazione della sorgente ed estremamente sensibile alle condizioni iniziali (meteorologia e chimica dell'atmosfera), ma che può fornire importanti indicazioni nelle situazioni di pericolo legato a segnalazioni di inattese ed intense criticità odorigene da parte della popolazione residente;
- effettuare un'analisi di sensitività e stabilità dei risultati delle valutazioni di impatto odorigeno in funzione di differenti approssimazioni del termine di sorgente, di specifici scenari emissivi, o di una possibile ri-allocazione virtuale della sorgente per valutare come minimizzare l'impatto presso il target considerato (specifici recettori discreti);
- assimilare i dati dell'impatto odorigeno prodotti da sistemi di misurazione puntuali, quali ad esempio i "nasi elettronici" (IOMS), che sono soggetti, allo stato attuale delle conoscenze tecnico-scientifiche, a numerose incertezze e difficoltà di implementazione, e restituire una valutazione modellistica più robusta su una scala spaziale più ampia di quella restituita dalle singole misure puntuali.

#### 4.5 LE CARATTERISTICHE TECNICHE ED IL RUOLO DEI MODELLI DI DISPERSIONE ODORIGENA NEGLI "INDIRIZZI NAZIONALI"

È qui importante sottolineare ed evidenziare che i criteri di accettabilità di impatto odorigeno definiti in funzione della classe di sensibilità del recettore, indicati in Tabella 3 degli "Indirizzi Nazionali" (MASE, 2023), sono da verificare puntualmente sulla base dei risultati ottenuti da una applicazione modellistica di dispersione odorigena.

Si pone quindi il duplice problema, da un lato di tipo operativo, su "come fare" in modo appropriato, tecnicamente robusto e ripercorribile le stime modellistiche e, dall'altro, di definire "quando", cioè in quale fase del processo decisionale (autorizzativo - ex ante - o di verifica - ex post) possono essere applicate tali stime.

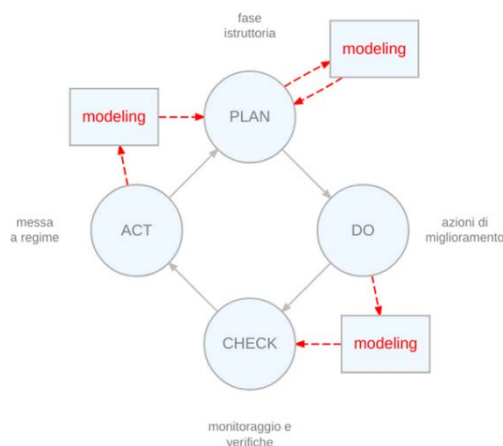
Rispetto al primo punto, il "Coordinamento emissioni", previsto dall'articolo 281, c.9, del D.Lgs.152/2006, ha elaborato uno specifico documento tecnico, l'Allegato A1 degli "Indirizzi Nazionali" dal titolo "Requisiti degli studi di impatto olfattivo mediante simulazione di dispersione" (MASE, 2023), in cui sono individuate delle linee guida utili, sia per il proponente che per le Autorità di Controllo, che definiscono i requisiti tecnici minimi di una valutazione modellistica di impatto odorigeno per garantire sufficiente ripercorribilità, e quindi trasparenza della documentazione progettuale, sia in termini di impostazione metodologica che di presentazione dei risultati finali. Per maggiori dettagli sui contenuti tecnici definiti in "Allegato A1 - Requisiti degli studi di impatto olfattivo mediante simulazione di dispersione" degli "Indirizzi Nazionali" si rimanda alla pubblicazione del Decreto MASE (2003), il cui testo integrale è disponibile al

seguito indirizzo: <https://www.mase.gov.it/pagina/indirizzi-lapplicazione-dellarticolo-272-bis-del-dlgs-1522006-materia-di-emissioni-odorigene>.

Rispetto al secondo punto sopra ricordato, cioè l'individuazione delle fasi nel processo decisionale (previsionale, - ex ante - o di controllo - ex post) in cui applicare la valutazione modellistica di dispersione odorigena si ritiene utile qui richiamare solo brevemente alcuni aspetti generali rimandando, ancora una volta, per quanto riguarda i dettagli tecnici specifici, al testo dell'articolato e degli Allegati agli "Indirizzi Nazionali".

L'impianto concettuale di "miglioramento continuo nel percorso di raggiungimento e mantenimento del rispetto degli standard" (MASE, 2023) definito negli "Indirizzi Nazionali" può essere assimilato ad un ciclo di Deming (o ciclo di PDCA, acronimo dall'inglese Plan-Do-Check-Act). Mutuando questo approccio di analisi al contesto, sia tecnico che "regolatorio" previsto dagli "Indirizzi Nazionali", l'impiego delle stime modellistiche di dispersione odorigena trova una "naturale" collocazione come rappresentato in Figura 4.1 e qui di seguito descritto nel testo.

Figura 4.1: Ruolo della modellistica nell'ambito del processo decisionale di autorizzazione e valutazione dell'impatto odorigeno previsto dagli "Indirizzi Nazionali" esemplificato attraverso l'utilizzo del ciclo di Deming (Plan- Do- Check-Act).



L'impiego della modellistica di dispersione odorigena nelle fasi del processo decisionale viene descritto rispetto a due casistiche distinte: per gli impianti nuovi o esistenti con modifiche peggiorative e per gli impianti esistenti che hanno evidenziato problematiche di disturbo o molestia olfattiva (casi critici).

*Impianti nuovi o esistenti con modifiche peggiorative:*

- **PLAN (fase istruttoria):** redazione da parte del proponente di una stima modellistica, con emissioni stimate da fattori di emissione di letteratura o derivati da misure in impianti analoghi.
- **DO (fase di rilascio dell'autorizzazione):** ripetizione della stima modellistica a seguito di prescrizioni di tipo impiantistico, gestionale, operativo, mitigativo con definizione di valori obiettivo alle emissioni.
- **CHECK: (l'impianto è stato realizzato - fase di autorizzazione iniziale<sup>1</sup>):** redazione da parte del proponente di una stima modellistica, con l'impiego di emissioni derivate da misure dirette, a supporto ed integrazione di un eventuale monitoraggio dell'impatto presso la popolazione residente. Definizione di valori limite con natura prescrittiva.

<sup>1</sup> Secondo DD MASE 2023 un'autorizzazione è nella fase iniziale quando gli interventi e i monitoraggi da attuare hanno natura prescrittiva per il gestore (la relativa omissione è pertanto soggetta a sanzioni ai sensi della legge), mentre i valori di concentrazione di odore ( $ou_e/m^3$ ) e di portata di odore ( $ou_e/s$ ) sono solo riferimenti funzionali all'individuazione degli interventi e dei monitoraggi (il relativo superamento è pertanto un presupposto per modificare gli interventi, senza essere soggetto a sanzioni ai sensi di legge).

- *ACT (l'impianto è stato realizzato - fase di aggiornamento dell'autorizzazione<sup>2</sup>):* redazione da parte del proponente di una stima modellistica, con l'impiego di emissioni derivate da misure dirette, successiva alla messa a regime delle modifiche tecniche, gestionali, operative e mitigative scaturite dal periodo di monitoraggio e dalla definizione dei valori limite prescrittivi.

*Impianti esistenti con casi critici:*

- *PLAN (fase iniziale di simulazione del potenziale impatto):* redazione da parte del proponente di una stima modellistica, con emissioni derivate da misure dirette a supporto ed integrazione di un eventuale monitoraggio dell'impatto presso la popolazione residente.
- *DO (fase di progettazione degli interventi di mitigazione dell'impatto):* ripetizione della stima modellistica a seguito di prescrizioni di tipo impiantistico, gestionale, operativo, mitigativo con definizione di valori obiettivo alle emissioni.
- *CHECK (fase di verifica delle soluzioni proposte):* redazione da parte del proponente di una stima modellistica, con l'impiego di emissioni derivate da misure dirette, a supporto ed integrazione di un eventuale ed ulteriore monitoraggio dell'impatto presso la popolazione residente. Definizione di valori limite con natura prescrittiva.
- *ACT (fase di aggiornamento dell'autorizzazione):* redazione da parte del proponente di una stima modellistica, con l'impiego di emissioni derivate da misure dirette, successiva alla messa a regime delle modifiche tecniche, gestionali, operative e mitigative scaturite dal periodo di monitoraggio e dalla definizione dei valori limite prescrittivi.

Per ogni fase di utilizzo della modellistica di dispersione la valutazione della correttezza delle stime modellistiche redatte da parte del proponente può presupporre da parte dell'autorità di controllo la predisposizione in parallelo di una stima di tipo speditivo / screening.

---

<sup>2</sup> Secondo DD MASE 2023 un'autorizzazione è in sede di aggiornamento quando, a seguito del periodo di monitoraggio, anche i valori di concentrazione di odore ( $ou_E/m^3$ ) e di portata di odore ( $ou_E/s$ ), come introdotti e/o modificati e/o confermati, hanno natura prescrittiva per il gestore (il relativo superamento è pertanto soggetto a sanzioni ai sensi della legge).

## 5. APPROCCI INTEGRATI PER LA VALUTAZIONE DELLA MOLESTIA OLFATTIVA

### 5.1 STRUMENTI DI VALUTAZIONE

La stretta relazione tra odori e soggettività della percezione umana costituisce un elemento di considerevole complessità nella valutazione e nella gestione dei casi di molestia olfattiva, rispetto agli approcci convenzionalmente utilizzati per la qualità dell'aria.

L'odore è la risposta del nostro organismo allo stimolo dei recettori olfattivi prodotto generalmente da un gruppo di sostanze, presenti nell'aria a differenti livelli di concentrazione e che possono anche reagire l'una con l'altra prima di essere percepite dall'uomo. Di fronte a tale complessità è difficilmente individuabile ed applicabile un unico metodo analitico in grado di determinare le diverse componenti, anche in considerazione dei limiti di rivelabilità delle comuni metodologie, spesso più elevati delle soglie di percettibilità di alcuni composti odoriferi.

Inoltre, la sola determinazione delle diverse componenti chimiche odorigene, non fornisce informazioni sulla percezione olfattiva che generano. Tale limitazione propria dei metodi di analisi chimica applicati ai composti odoriferi, unitamente al riconoscimento dell'elevata sensibilità che è propria del sistema olfattivo umano, ha portato allo sviluppo e alla standardizzazione di un metodo di misura dell'odore di una miscela gassosa che è di tipo sensoriale e sfrutta l'olfatto di valutatori selezionati.

Nella definizione dell'approccio metodologico più opportuno è necessario tener conto che l'emissione odorigena è caratterizzata da elevata variabilità sia in riferimento alla tipologia delle sorgenti che la generano, sia alla distribuzione temporale e spaziale dell'emissione. Infatti, l'emissione odorigena è frequentemente caratterizzata da discontinuità, con alternanza di periodi ad elevata emissione, spesso con picchi di breve durata, e periodi a bassa emissione. Si riconosce, inoltre, un andamento tipico con prevalenza della percezione nella fascia serale, notturna e nelle primissime ore della mattina; tale dinamica è attribuibile all'andamento dello spessore dello strato di rimescolamento atmosferico, non costante a causa dell'irraggiamento solare e della velocità del vento. Nelle ore più calde esso risulta essere più elevato per effetto delle masse d'aria calda che risalgono in funzione della loro minore densità, mentre nelle ore serali e notturne, in particolare, il minore riscaldamento della superficie terrestre ne provoca un assottigliamento con conseguente confinamento in prossimità del suolo delle sostanze odorigene emesse (Deardorff, J. W., 1972a e 1972b).

In sintesi, dunque, considerata la variabilità delle sorgenti di un impianto nel numero e nella tipologia di emissione (convogliata, areale e fuggitiva), nonché la stretta connessione con la soggettività della percezione umana si rende necessario prediligere nell'analisi di un caso di molestia olfattiva una combinazione, pianificata e definita di volta in volta a seconda dello scopo di indagine, di diversi strumenti di valutazione, che possano fornire informazioni complementari (Institute of Air Quality Management-UK, 2018).

Genericamente, tali strumenti possono essere distinti in:

- *metodi predittivi*: utilizzano modelli che, attraverso una ricostruzione schematica della situazione reale, sono in grado di fornire informazioni sul potenziale impatto di una fonte odorigena sul territorio;
- *metodi strumentali/empirici*: si basano su osservazioni (attività di monitoraggio strumentale o indagini che coinvolgono popolazione e/o panel).

#### Metodi predittivi

In considerazione del livello di dettaglio richiesto, delle informazioni a disposizione e dello scopo della valutazione, si possono individuare approcci di tipo qualitativo o quantitativo/modellistico. L'esperienza maturata in questi anni nell'ambito SNPA ha mostrato la scarsa efficacia e applicabilità degli approcci di tipo qualitativo, mentre hanno larga applicazione quelli di tipo quantitativo/modellistico. I modelli di dispersione, infatti, sono diffusamente impiegati nelle valutazioni di impatto odorigeno (vedi Capitolo 4). Il loro utilizzo necessita di una valutazione dei dati di input più aderente possibile alla realtà (descrizione del sito, delle sorgenti e delle loro portate emissive, delle condizioni meteorologiche e micrometeorologiche, dell'orografia del territorio), in modo che la rappresentazione quantitativa della dispersione degli odori in atmosfera sia attendibile. Qualora tali aspetti non siano ben conosciuti, la simulazione risultante potrebbe portare a conclusioni errate ed essere affetta da elevata incertezza.

#### Metodi strumentali/empirici

Tali metodi richiedono un monitoraggio dei livelli di odore ambientale presso i recettori prossimi alla sorgente e ricadono in tre principali categorie:

- a) Monitoraggio strumentale (caratterizzazione chimica, metodi senso-strumentali, monitoraggio di sostanze traccianti).  
Il monitoraggio in aria ambiente presenta criticità per:



- la natura dell'esposizione all'odore: l'odore può essere percepito su un breve intervallo di tempo (anche pochi secondi) ed in maniera del tutto imprevedibile nell'arco della giornata rendendo necessario il campionamento nel momento di percezione o un monitoraggio in continuo;
- la difficoltà della misura in aria ambiente, data la sensibilità non ottimale delle tecniche analitiche convenzionali rispetto alle concentrazioni delle sostanze odorigene rilevabili in aria ambiente e alla loro velocità di risposta rispetto a quella molto più rapida del naso umano.

In aggiunta, è bene precisare che, con campionamenti *spot* dell'aria, non è possibile determinare, presso i recettori, livelli di concentrazione in aria ambiente espressi come 98° percentile della concentrazione media oraria, sui quali vengono normalmente stabiliti i criteri di accettabilità. Inoltre, tutte le tecniche di campionamento di aria ambiente di tipo discontinuo, utili per la determinazione analitica di traccianti chimici dell'emissione, non consentono di effettuare un monitoraggio nel tempo dell'emissione odorigena e della dispersione al variare delle condizioni atmosferiche.

b) Metodologie che prevedono l'impiego di valutatori esperti (field inspection) (cfr. par. 3.5.3).

Per quanto in passato, nei casi di molestia olfattiva, sia stata utilizzata la metodologia dell'olfattometria dinamica nella necessità di fornire una risposta alla popolazione e agli enti preposti alla tutela della salute, la revisione del 2022 della UNI EN 13725 ha precluso definitivamente tale pratica, circoscrivendo chiaramente l'ambito di applicabilità della metodologia alla misura dell'odore sulle sorgenti e non a quella in aria ambiente. Pertanto, l'olfattometria dinamica non è da considerarsi uno strumento utilizzabile con la finalità di valutare, da sola e in maniera diretta, l'impatto che le sorgenti hanno sul territorio circostante. In tal senso, viene indicata dalle norme tecniche UNI EN 16841-1:2017 (metodo a griglia) e UNI EN 16841-2:2017 (metodo del pennacchio), la metodologia della field inspection che, d'altro canto, presenta una criticità legata ai tempi e ai costi elevati delle campagne di misura.

c) Metodologie che prevedono il coinvolgimento della popolazione (questionari, sondaggi, segnalazioni).

I metodi di raccolta delle segnalazioni che prevedono la partecipazione della popolazione interessata sono relativamente economici e, nonostante necessitino di interventi di "validazione" del dato da parte degli operatori preposti al controllo, sono un utile strumento di misura della frequenza con cui avvengono gli eventi di molestia olfattiva in un territorio e della loro distribuzione oraria. Inoltre, consentono anche di mettere in relazione gli eventi con le attività condotte sull'impianto, di formulare delle ipotesi sulle possibili cause e di corroborare quanto rilevato dagli altri strumenti di monitoraggio impiegati.

In Tabella 5.1 è riportato un quadro sintetico dei principali metodi di valutazione con indicazione dei relativi parametri stimati.

Tabella 5.1: Quadro sintetico dei principali approcci di valutazione

Tipologia	Approccio	Strumento		Parametro stimato
Metodi predittivi	Qualitativo	Criteri di esposizione		Indici di disturbo
	Modellistico	Modelli di dispersione atmosferica		Concentrazioni (ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ) riferite a un determinato percentile della distribuzione delle frequenze di accadimento stimate (es. 98° percentile)
Metodi empirici	Monitoraggio strumentale	Sensoriale Olfattometria dinamica		Concentrazione di odore (ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ) e portata di odore (ou/s)
		Analitico		Concentrazione di singole sostanze chimiche odorigene, traccianti o surrogati dell'odore
		Senso - strumentale Naso elettronico		Impronta olfattiva della miscela odorigena
	Monitoraggio sensoriale	Panel addestrato	Field inspection	Indici di esposizione
		Coinvolgimento attivo della popolazione	Diari di odore o questionari	Indice di accettabilità del disturbo olfattivo (es. ore di percezione di odore (%)/mese)
			Sondaggi	% di soggetti infastiditi o che percepiscono molestia
Uso passivo della popolazione	Analisi delle segnalazioni	Frequenza delle segnalazioni		

Nella pianificazione della strategia di valutazione di un caso di molestia olfattiva è opportuno selezionare gli strumenti ritenuti più idonei al contesto e allo scopo dell'indagine.

Di seguito, si riporta un esempio di approccio semplificato adottabile per l'individuazione della strategia più idonea di valutazione:

- *Step 1 – individuazione dello scopo della valutazione*

In considerazione dello scopo della valutazione, si può distinguere tra:

- a) *impianto da realizzare*: non essendo possibile eseguire osservazioni empiriche o misure, la valutazione può essere effettuata solo attraverso l'uso di strumenti predittivi (uso di riferimenti bibliografici su impianti simili, fattori di emissione, modelli di dispersione);
- b) *impianto esistente*: la valutazione può essere effettuata attraverso una opportuna combinazione tra osservazioni empiriche o misure e modelli predittivi. Infatti, sebbene in questi casi sia possibile l'uso di misure, la valutazione dell'impatto potrebbe avere necessità di numerose osservazioni, nello spazio e nel tempo, approccio difficoltoso sia per la praticabilità che per i costi elevati. In questi casi, potrebbe essere utile impiegare l'approccio predittivo combinato con diversi approcci empirici, quali l'analisi delle segnalazioni dei cittadini, la *field inspections*, l'uso di questionari o sondaggi.

- *Step 2 – selezione degli strumenti di valutazione più adatti*

Dopo aver individuato lo scopo della valutazione e aver scelto tra l'uso di un approccio unicamente predittivo o di uno integrato con osservazioni empiriche e/o misure, è necessario selezionare gli strumenti più adatti allo specifico caso, escludendo quelli non idonei o non tecnicamente realizzabili o disponibili (ad es. non è opportuno installare un analizzatore aspecifico di sostanze volatili come un PID presso un recettore impattato da più di una sorgente; ad esso sarebbe da preferire uno IOMS, comunemente noto come naso elettronico).

- *Step 3 – definizione degli strumenti*

Una volta selezionato l'approccio da utilizzare, è necessario pianificare la strategia di indagine al fine di ottenere sufficienti informazioni su cui basare le valutazioni sull'impatto e le conclusioni. In casi caratterizzati da elevata complessità o in cui si rilevano fattori caratteristici di un elevato potenziale odorigeno (es. presenza di recettori sensibili vicino ad una fonte di significativa grandezza), è bene ricorrere alla combinazione di diversi strumenti di valutazione, comprese le tecniche di misura quantitative.

## 6. METODOLOGIE DI ABBATTIMENTO DEGLI ODORI

Il tema dell'abbattimento delle emissioni odorogene è caratterizzato da notevole complessità in quanto è strettamente legato alla conoscenza dei processi, con dettaglio delle specifiche fasi di lavorazione dalle quali le emissioni vengono generate prima di raggiungere, poi, i potenziali recettori. La conoscenza di tali elementi consente di individuare le modalità di controllo o inibizione dell'emissione al fine di prevenire/ridurre le molestie olfattive, mediante l'applicazione di misure di gestione e di tipo impiantistico adeguate. Si può, quindi, intervenire a vari livelli direttamente sulla sorgente e/o sul percorso di dispersione al recettore al fine di prevenire l'esposizione. Per ridurre l'esposizione e, di conseguenza, l'impatto devono essere impiegate misure di controllo in grado di incidere su queste componenti, come ad esempio la modulazione dell'altezza del camino di espulsione della miscela odorosa, atteso che un camino molto alto determina un maggiore effetto di diluizione e dispersione del pennacchio dalla sorgente al recettore. In ogni caso, prevenire o controllare le emissioni odorogene alla sorgente rimane il metodo di controllo più diretto, nonostante possa essere difficile da realizzare e molto costoso in presenza di grandi sorgenti diffuse. Le possibili alternative per la prevenzione e il controllo degli odori sono quelle che intervengono su uno o più passaggi della relazione sorgente - percorso - recettore:

- prevenire la formazione delle sostanze maleodoranti nei processi;
- prevenire il trasferimento delle emissioni odorogene da una miscela alla fase gassosa (aria);
- prevenire il rilascio delle emissioni odorogene in atmosfera attraverso la captazione e il successivo trattamento di depurazione;
- limitare il trasporto delle emissioni odorogene dalla sorgente ai recettori;
- influenzare la qualità dell'odore per ridurne la percezione in termini di molestia olfattiva ai recettori;
- assicurare una comunicazione effettiva e trasparente tra il responsabile della sorgente e i recettori esposti per contribuire a ridurre il livello di conflitto e lo stress correlato;
- incentivare la previsione di misure compensative.

La mitigazione degli odori può essere affrontata secondo tre distinte tipologie d'intervento:

- *metodi palliativi* (ad esempio con l'utilizzo di sostanze dotate di odore gradevole, coperture delle sorgenti);
- *metodi preventivi* (riduzione preventiva delle emissioni alla fonte, per eliminazione delle sostanze maleodoranti o limitazione delle condizioni che ne favoriscono la formazione ed il rilascio in atmosfera);
- *metodi curativi* (captazione e successivo trattamento di depurazione delle emissioni).

Le prime due categorie comprendono alcuni accorgimenti di carattere progettuale e gestionale, talvolta relativamente semplici, ma che possono non dimostrarsi sufficienti e/o economicamente troppo onerosi per la soluzione del problema. La terza prevede l'utilizzo di opportune tecnologie di trattamento che, rimuovendo l'inquinante dall'aria captata, operano quando l'emissione si è già formata ma prima che sia espulsa.

### 6.1 METODI DI CONTROLLO DEGLI ODORI ALLA SORGENTE

In generale, le tecnologie per il trattamento delle emissioni odorogene possono essere classificate in tre categorie, in considerazione del principio di azione:

- Fisico: captazione, diluizione, adsorbimento fisico, mascheramento.
- Chimico: assorbimento con reazione chimica, ossidazione, incenerimento.
- Biologico: con bio-scrubber, biotrickling, bio-filtrazione.

#### 6.1.1 Captazione ed estrazione

L'impatto odorigeno prodotto da un processo industriale può derivare dalle emissioni emesse da un camino, eventualmente trattate da un sistema di abbattimento degli odori posto a monte dell'uscita dal camino, da sorgenti diffuse (vasche, cumuli,...) o da sorgenti di fuggitive (perdite derivanti da impianti/edifici, valvole, flange, aperture di ventilazione passiva,...). Assicurare un ambiente ben confinato dell'edificio e minimizzare la concentrazione di odore mediante la copertura o la captazione delle sorgenti interne all'edificio, con successiva estrazione delle sostanze maleodoranti ad un impianto di abbattimento odori, permetterebbe di contenere le emissioni fuggitive. Infatti, le coperture localizzate associate all'estrazione consentirebbero il controllo delle potenziali perdite fuggitive a flussi più bassi di estrazione, comportando apparecchiature di aspirazione e abbattimento più piccole e, quindi, con costi inferiori di investimento e di esercizio. La realizzazione di confinamento e successivo convogliamento e trattamento delle arie esauste, quando tecnicamente possibile, è funzionale alla riduzione delle emissioni derivanti anche da sorgenti diffuse. La verifica del convogliamento delle emissioni odorogene è, peraltro, prevista dall'art. 270 del D.Lgs.152/06, che ne prescrive, in caso di fattibilità, la captazione ed il convogliamento.

Con il convogliamento a un camino si realizzano il mescolamento e la dispersione in atmosfera con la conseguente riduzione delle ricadute a terra e, quindi, della concentrazione degli odori nelle aree circostanti. Per alcune applicazioni un camino sufficientemente alto fornisce un'adeguata mitigazione dell'odore senza la necessità di un sistema di abbattimento, mentre, in altri casi, è necessario installare a monte del camino un dispositivo di abbattimento, come ad esempio uno scrubber. Studi di modellistica dispersionale hanno infatti dimostrato che emissioni di 500 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup> da una superficie libera possono determinare maggiori fastidi per i recettori rispetto a emissioni di 1000 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup> da una fonte puntuale collocata a 10-15 m di altezza: pertanto, la pratica corrente raccomanda il ricorso a punti di emissione convogliata per aumentare la dispersione degli odori e minimizzare gli impatti sui recettori (Estrada et al., 2011).

### 6.1.2 Adsorbimento

L'adsorbimento sfrutta la capacità di una superficie solida, porosa e dotata di elevata area superficiale, denominata adsorbente, di trattenere le sostanze che vengono in contatto con essa rimuovendole, quindi, dalla corrente dell'effluente.

Gli adsorbenti tipici includono:

- *carbone attivo*, l'adsorbente più comunemente impiegato; può essere impregnato, ad es. con ossidanti come il permanganato di potassio o composti di zolfo (migliorando la ritenzione di metalli pesanti);
- *zeoliti*, con proprietà che dipendono dalla loro produzione, che funzionano come semplici setacci molecolari, scambiatori di ioni selettivi o adsorbitori di VOC idrofobi;
- *particelle polimeriche macroporose*, che vengono utilizzate come granuli o perline, senza essere altamente selettive rispetto ai VOC;
- *gel di silice*;
- *silicati di sodio e alluminio*.

Il carbone attivo è generalmente impiegato per gas e vapori organici, per alcuni gas inorganici e per alcuni vapori di metalli ed è efficace in presenza di flussi d'aria abbastanza secca (umidità relativa inferiore a 75-80%) e a temperature inferiori o uguali a 40°C. In caso di temperature alte o di presenza di grassi o di polveri, il flusso deve essere pre-trattato prima di passare attraverso il carbone attivo, perché tali sostanze ne provocherebbero l'intasamento (Department for Environment Food and Rural Affairs – UK, 2010); un'unità di pre-filtrazione va prevista anche in presenza di metalli pesanti o altre specie chimiche che possono indurre fenomeni di avvelenamento.

Il processo di adsorbimento, ai fini della depurazione di un effluente aeriforme, può essere caratterizzato da due distinti parametri:

- *l'efficienza di adsorbimento*  
 $E_a = 100 * (VOC_{in} - VOC_{out}) / VOC_{in}$
- *la capacità operativa*  
 $K = (Q_e / W_c) * \int (VOC_{in} - VOC_{out}) dt$

dove:

$E_a$ : efficienza di adsorbimento (%)

$K$ : capacità operativa (%)

$Q_e$ : portata volumetrica dell'effluente aeriforme (Nm<sup>3</sup>/h)

$VOC_{in}$ : concentrazione VOC in ingresso al corpo adsorbitore (mg/Nm<sup>3</sup>)

$VOC_{out}$ : concentrazione VOC in uscita dal corpo adsorbitore (mg/Nm<sup>3</sup>)

$W_c$ : quantità di carbone attivo presente in fase di adsorbimento (kg)

L'integrale per il calcolo della capacità operativa si intende esteso a tutta la durata del ciclo di adsorbimento; quest'ultimo termina quando il valore è prossimo al limite di emissione. La capacità operativa non deve essere confusa con la capacità di adsorbimento; mentre la prima viene determinata sulla base del limite di emissione definito dalla legislazione vigente, la seconda viene determinata da quella particolare condizione di equilibrio tale per cui la concentrazione di sostanza in uscita dal letto di carboni è pari alla concentrazione in ingresso; tale condizione è detta saturazione.

Nella pratica operativa, il processo di adsorbimento è influenzato oltre che dal tipo di adsorbente, dalle sostanze da adsorbire, anche da fattori legati alle reali condizioni di processo, quali:

- *velocità di attraversamento*: l'efficienza di adsorbimento è maggiore per basse velocità;
- *tempo di contatto*: maggiore è il valore assunto da questo parametro maggiore è l'efficienza di adsorbimento;
- *umidità*: la presenza di eccessiva umidità nell'effluente aeriforme e la relativa condensazione dell'acqua all'interno del letto adsorbente possono portare ad un fenomeno di competizione nei confronti dell'adsorbimento dei VOC con conseguente perdita di efficienza e riduzione della capacità operativa;
- *temperatura*: l'incremento della temperatura nell'effluente produce un effetto di incremento della componente di desorbimento; generalmente si consiglia di non superare i 40°C;

- presenza di sostanze (polveri, sostanze altobollenti, ossidi, ecc...) che non riescono ad essere desorbite, si accumulano nei carboni, provocandone la perdita di efficienza.

#### Applicazione

La tecnologia dell'adsorbimento è ampiamente utilizzata in moltissimi settori industriali, quali ad esempio industria chimica, trattamento delle superfici con solventi, fonderie, produzione di ferro e acciaio, industria alimentare e trattamento dei rifiuti.

L'impiego del carbone attivo prevede una sostituzione o rigenerazione periodica del letto filtrante.

### 6.1.3 Scrubbing umido

Lo scrubbing (o assorbimento) umido consiste in un trasferimento di massa tra un gas solubile e un solvente, spesso acqua, in contatto l'uno con l'altro. Tale tecnica è ampiamente usata per la separazione e purificazione di flussi gassosi che contengono alte concentrazioni di VOC, specialmente composti solubili in acqua come alcoli, acetone o formaldeide oppure gas inorganici ammoniacca o acido solfidrico. L'uso dell'assorbimento è soggetto alla disponibilità di un solvente adatto, con un'elevata solubilità per il gas, una bassa pressione di vapore e bassa viscosità.

A seconda degli inquinanti da rimuovere, possono essere impiegati i seguenti liquidi di lavaggio (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016):

- acqua, per rimuovere solventi e gas come alogenuri di idrogeno o ammoniacca, con l'obiettivo principale di recuperare e riutilizzare questi contaminanti;
- soluzioni alcaline (ad esempio idrossido di sodio e carbonato di sodio), per rimuovere componenti acidi come alogenuri di idrogeno, biossido di zolfo, idrogeno solforato ( $H_2S$ ), fenoli, cloro;
- soluzioni di ossidazione alcalina, ovvero soluzioni alcaline con ossidanti come ipoclorito di sodio ( $NaClO$ ), biossido di cloro ( $ClO_2$ ), ozono ( $O_3$ ) o perossido di idrogeno ( $H_2O_2$ );
- soluzioni di idrogeno solfito di sodio per rimuovere, ad esempio, aldeidi;
- soluzioni acide, per rimuovere componenti alcalini, ad es. ammoniacca, ammine e esteri (il dosaggio dell'acido viene effettuato mediante la regolazione del pH);
- soluzioni di monoetanolamina e dietanolamina, adatte all'assorbimento e al recupero di idrogeno solforato;
- solventi organici con bassa volatilità, ad es. nonano refrigerato per il recupero di COV leggeri come butani e pentani.

Lo scrubbing liquido dei gas per la rimozione degli odori può essere costituito da un processo di assorbimento in un solvente o da un trattamento chimico con un reagente e diventa economicamente conveniente quando le portate dei gas da trattare sono maggiori di  $5000 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Lo scrubber liquido deve essere progettato in modo da assicurare un intimo contatto tra il gas da trattare e la fase liquida. I principali tipi di apparecchiatura sono costituiti da colonne a riempimento, a piatti, a spruzzi, a letti fluidizzati. È importante raffreddare gli stream di vapori caldi e umidi prima che vengano in contatto con le soluzioni di abbattimento, utilizzando dei condensatori. Risulta inoltre opportuna l'installazione di un demister in testa alla colonna al fine di minimizzare gli effetti di trascinalimento della soluzione di lavaggio.

Le soluzioni di assorbimento maggiormente utilizzate sono:

- sodio idrossido ideale per l'assorbimento di solfuro di idrogeno e mercaptani;
- ammine adatte per il solfuro di idrogeno e i gas idrocarburici delle raffinerie;
- cloro, ipoclorito di sodio, permanganato di potassio, ozono o perossido di idrogeno efficaci per l'assorbimento di composti organici insaturi;
- acido solforico diluito usato per l'assorbimento di ammoniacca.

#### Applicazione

Lo scrubbing umido è ampiamente utilizzato nel settore dell'industria chimica, del trattamento delle superfici, dello stoccaggio e della manipolazione di prodotti chimici e dell'incenerimento dei rifiuti. Il lavaggio acido è comunemente usato nel settore dell'industria chimica e in altri settori come la lavorazione del letame, il compostaggio, il trattamento dei rifiuti, le fonderie. Il lavaggio alcalino è comunemente usato nel settore dell'industria chimica e in altri settori come lo stoccaggio e la manipolazione di prodotti chimici, l'incenerimento di rifiuti, il trattamento dei fanghi e impianti di trattamento delle acque reflue.

Ai fine del controllo dell'efficienza di depurazione, ovvero del grado di saturazione della soluzione di lavaggio, è utile l'installazione di misuratori di pH (per lavaggi acidi e alcalini) o di potenziale red-ox (per i lavaggi ossidanti), al fine di assicurare il corretto dosaggio dei reagenti. Sistemi di allarme acustico-visivi collegati a tali misuratori e/o al sistema di dosaggio della soluzione rappresentano delle valide tecnologie di controllo indiretto dell'efficienza di funzionamento dell'unità depurativa.

È da prevedere periodicamente lo smaltimento o la depurazione della soluzione di lavaggio, valutando la possibilità di un suo eventuale recupero nel processo produttivo.

#### 6.1.4 Sistemi biologici di abbattimento

##### 6.1.4.1 Biofiltrazione

La biofiltrazione è il metodo biologico più applicato per la rimozione degli odori. Essa si basa sull'azione degradativa operata da diverse tipologie di microrganismi nei confronti di un ampio spettro di composti organici ed inorganici presenti nell'effluente gassoso da depurare. Tali microrganismi si sviluppano su un supporto inerte dotato di una grande area superficiale, tale da consentire il contatto tra i gas che attraversano il mezzo ed il film di batteri, adesi alla superficie.

Il processo di biofiltrazione consta di tre stadi:

1. l'inquinante, contenuto nel flusso gassoso da depurare, attraversa l'interfaccia fra il gas di trasporto e il biofilm acquoso che circonda il supporto solido;
2. il composto diffonde attraverso il biofilm in una colonia di microrganismi acclimatati;
3. i microrganismi traggono energia dall'ossidazione del composto utilizzato come substrato primario, oppure lo metabolizzano attraverso vie enzimatiche alternative; simultaneamente nel biofilm si verifica una diffusione e un consumo di nutrienti (come le forme prontamente disponibili del fosforo e dell'azoto) e di ossigeno.

Il corretto funzionamento del biofiltro dipende dalle comunità microbiche e dalle loro funzionalità metaboliche, principali responsabili della degradazione e della rimozione degli inquinanti (Jiang et al., 2020; Tang et al., 2018; Xiang et al., 2013).

Il biofilm è l'elemento chiave del sistema di biofiltrazione; il suo spessore è influenzato da differenti fattori quali la velocità di flusso che attraversa il biofiltro, il materiale usato per il letto e la configurazione del sistema di trattamento. Generalmente lo spessore varia da qualche decina di micrometri a più di 1 cm (Mudliar, 2010) nel caso di bioreattori. L'attività microbica aumenta con lo spessore del biofilm fino ad un livello oltre il quale la diffusione dei nutrienti diventa un fattore limitante.

Il letto del biofiltro, fornendo il supporto per la crescita microbica, deve avere le seguenti caratteristiche: elevata area superficiale specifica per lo sviluppo del biofilm microbico e per il trasferimento di massa gas-biofilm, elevata porosità per facilitare una distribuzione omogenea dei gas, una buona capacità di ritenzione idrica, presenza e disponibilità di nutrienti. Cortecce, legno triturato, compost maturo e torba sono i materiali più frequentemente utilizzati nei letti dei biofiltri poiché rispondenti alle caratteristiche elencate ed ampiamente disponibili, a basso costo (Barbusinski, 2017). Il controllo di parametri quali livello di ossigeno, pH, temperatura e umidità è funzionale alla valutazione dell'efficienza di un biofiltro in quanto strettamente correlati all'attività microbica e al suo range ottimale di processo. In particolare, l'umidità condiziona significativamente il metabolismo microbico; condizioni di scarsa umidità possono portare alla cessazione dell'attività biologica nonché al formarsi di zone secche e fessurate in cui l'aria scorre, in vie preferenziali, non trattata. È buona norma, pertanto, installare in modo omogeneo sulla superficie del biofiltro degli irrigatori ad essa asserviti. Un biofiltro troppo umido provoca, al contrario, elevate contropressioni, problemi di trasferimento di ossigeno al biofilm, creazione di zone anaerobiche, lavaggio di nutrienti dal mezzo filtrante nonché formazione di percolato a basso pH ed alto carico inquinante che necessiterebbe di ulteriori adempimenti per il suo smaltimento. Il contenuto di umidità ottimale del mezzo filtrante è nell'ordine del 40-60%. Il bilanciamento dell'umidità può essere regolato da un umidificatore o da uno scrubber, posti a monte del biofiltro, a volte in combinazione con un inumidimento del materiale filtrante (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016).

I biofiltri sono molto efficaci nel trattamento di grandi volumi di flussi di aria contenenti basse concentrazioni di VOC o odoranti.

I biofiltri possono essere progettati secondo due configurazioni (Barbusinski 2017; Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016):

- biofiltri aperti (Figura 6.1), in cui la parte superiore è in diretto contatto con l'atmosfera. Tali configurazioni richiedono grandi superfici e sono esposti agli agenti atmosferici che possono influenzare le condizioni del letto filtrante (troppo umido dopo precipitazioni eccessive o troppo secco dopo periodi estremamente soleggiati);
- biofiltri chiusi (Figura 6.2), installati in camere chiuse in cui i parametri di processo possono essere più facilmente controllati e monitorati.

Figura 6.1: Rappresentazione schematica di un biofiltro aperto (Kennes and Veiga, 2001)

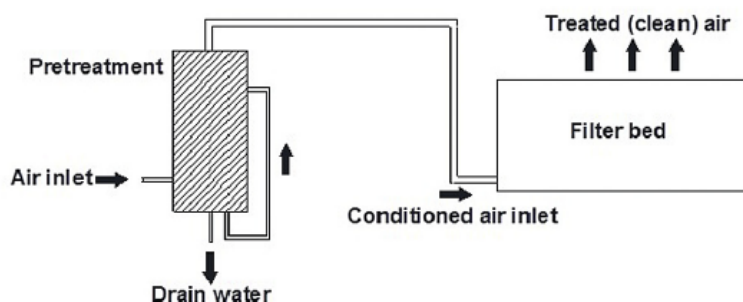
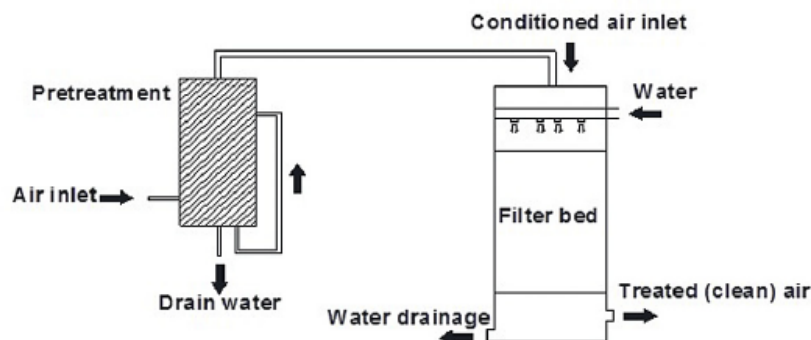


Figura 6.2: Rappresentazione schematica di un biofiltro chiuso (Kennes and Veiga, 2001)



Nella maggior parte delle applicazioni sono utilizzati biofiltri aperti, in quanto meno costosi ma anche meno efficienti e maggiormente soggetti alla sostituzione delle parti strutturali; in alcuni casi, quindi, potrebbero essere preferiti biofiltri chiusi (Barbusinski, 2017; Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016).

#### Applicazione

La tecnologia della biofiltrazione trova applicazione in un range di industrie che generano emissioni odorigene di tipo organico come gli impianti di trattamento delle acque reflue, gli impianti di compostaggio, l'industria di produzione di mangimi per animali e gli allevamenti intensivi. I biofiltri sono molto versatili, possono andare da piccole installazioni per il compost a impianti completamente chiusi dotati di sofisticati controlli e sensori.

È utile una verifica dell'efficienza depurativa attraverso misure condotte a monte e a valle dell'unità depurativa. È auspicabile che l'atto autorizzativo espliciti in maniera inequivocabile i range di funzionamento delle principali variabili di processo (umidità, temperatura, altezza del letto biologico), e che richieda una valutazione del profilo di velocità dell'effluente gassoso determinato sull'intera superficie del biofiltro, al fine di dimostrare l'assenza di circuiti preferenziali che potrebbero penalizzare in maniera significativa l'efficienza depurativa. A tal scopo, occorre garantire che la media dei valori di velocità acquisiti in ogni settore di campionamento (sub aree) moltiplicata per la superficie totale del biofiltro, non si discosti dal valore di portata misurata a monte del biofiltro per un valore maggiore del 20% (D.G.R. n.7/12764 del 16 aprile 2003, della Regione Lombardia).

#### 6.1.4.2 Biotrickling

Il biotrickling individua un sistema biologico di trattamento di tipo avanzato, in grado di trattare efficacemente inquinanti facilmente solubili in acqua e biodegradabili, come mostrato in Tabella 6.1 (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016). Nel sistema di biotrickling, il gas attraversa un materiale di supporto, continuamente irrigato con una soluzione acquosa contenente nutrienti essenziali necessari alla crescita dei microrganismi nel biofilm. Gli inquinanti sono inizialmente assorbiti dalla fase acquosa che circonda il biofilm e successivamente degradati all'interno del biofilm. Il materiale di supporto ha il compito di facilitare il passaggio dei flussi di gas e di

liquido e favorire lo sviluppo della microflora; sono da preferire materiali caratterizzati da elevata porosità e area superficiale, alta stabilità chimica, basso peso, resistenza a fenomeni di rottura o compattazione (Barbusinski, 2017). Per lo scopo, sono indicati materiali inerti come resine, ceramiche, poliuretano, materiale siliceo/calcareo (lapilli, gusci di mitili, ecc.). In Figura 6.3 è riportata una rappresentazione schematica della trattamento mediante biotrickling. Un inconveniente di questa tecnologia è legato alla necessità di trasferimento degli inquinanti gassosi nella fase acquosa; si ritiene che il biotrickling sia adatto ai casi di trattamento degli odori caratterizzate da un Coefficiente di Henry dell'ordine di 1 o meno (Waweru, 2006; Fortuny, 2011). Per alcuni inquinanti, il tasso di dissoluzione può essere potenziato con l'aggiunta di tensioattivo alla soluzione nutritiva (Wang, 2014). Inoltre, un'eccessiva crescita del biofilm può portare a locali intasamenti che possono generare flussi preferenziali e causare un'eccessiva caduta di pressione, determinando il peggioramento delle dimensioni della superficie di scambio e quindi delle prestazioni del filtro.

Analogamente alla biofiltrazione, la concentrazione di nutrienti, la temperatura e la disponibilità di ossigeno possono influenzare l'efficienza del processo. Di norma, l'intervallo di temperatura di funzionamento si colloca tra 10°C e 40°C, caratteristico della crescita dei microrganismi mesofili. Il funzionamento del biotrickling, seppur più complesso di quello dei biofiltri, risulta più efficace specialmente per il trattamento di composti difficili da degradare o di composti che generano sottoprodotti acidi, come H<sub>2</sub>S.

Figura 6.3: Rappresentazione schematica del sistema biotrickling (Delhomenie and Heitz, 2005)

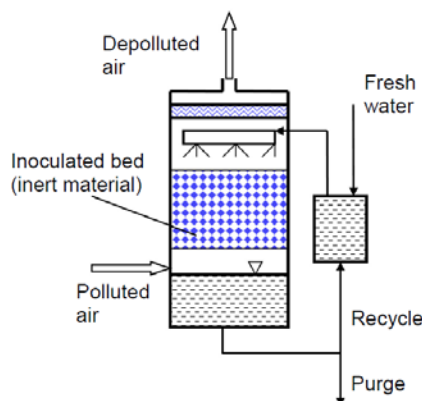


Tabella 6.1: Applicabilità del biotrickling ai diversi gruppi di composti (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016)

Adatto	Generalmente adatto	Non adatto
Alcoli (metanolo, etanolo, butanolo, glicole, diglicole, butil glicole) Aldeidi e chetoni (formaldeide, acetaldeide, acetone, metil isobutil chetone) Acidi carbossilici e loro esteri (acido acetico, acido propionico, acido butirrico, n-butil acetato, etil acetato, metil metacrilato) Fenoli (fenolo, cresolo) Mercaptani Composti azotati (ammine, ammoniaca, composti eterociclici dell'azoto) Diclorometano, 1,2-dicloroetano, clorofenoli Idrogeno solforato	Stirene, naftalene Composti eterociclici dello zolfo Disolfuro di carbonio Tricloroetene, vinil cloruro	Idrocarburi alifatici (metano, pentano) Percloroetene 1,1,1-tricloroetano

#### 6.1.4.3 Bioscrubber

Il bioscrubbing consiste nella separazione fisica o assorbimento delle sostanze odorigene in fase liquida in un'unità di assorbimento, seguita dal trattamento biologico in un bioreattore a fase liquida. Il riciclo dell'effluente dal bioreattore alla sommità dell'unità di assorbimento assicura un efficace rimozione degli inquinanti altamente solubili. La rimozione dei composti odorigeni nei bioscrubber, quindi, coinvolge i seguenti meccanismi fisici e biochimici (Barbusinski, 2017):

- **assorbimento:** i composti odorigeni sono trasferiti dalla fase gas a quella acquosa; l'entità del trasferimento di massa dipende dall'area superficiale di contatto, dal tempo di contatto e dal coefficiente di diffusività;
- **biodegradazione o biotrasformazione:** microrganismi attivi (eterotrofi o autotrofi) presenti nel bioreattore convertono gli inquinanti contenuti nella fase acquosa; la microflora eterotrofa necessita di una sorgente di carbonio organico per fornire



energia e carbonio per la crescita e la sintesi cellulare, gli organismi autotrofi ottengono carbonio dall'anidride carbonica presente nel flusso di aria e l'ossidazione del solfuro o a solfato o a zolfo elementare fornisce energia per la crescita e la respirazione cellulare.

Nell'unità di assorbimento avviene il contatto liquido – gas in condizioni che favoriscono il trasferimento di massa degli inquinanti dalla fase gas al mezzo acquoso. Gli assorbitori a torri impaccate o a spray sono i più adatti per il bioscrubbing poiché le efficienze di eliminazione per gli inquinanti meno solubili in acqua sono più elevate rispetto ad altre tipologie di assorbitori.

Nel bioreattore, invece, avviene la degradazione dell'inquinante contenuto nell'effluente acquoso dell'assorbitore; sotto continua aerazione, l'inquinante è convertito dai microorganismi attivi in CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e biomassa. L'effluente del bioreattore è ricircolato e riusato nell'assorbitore. Il controllo del pH e della temperatura sono pre-requisiti essenziali per soddisfare elevate efficienze di rimozione ed evitare effetti inibitori. Una rappresentazione schematica del funzionamento di un'unità di bioscrubber è presentata in Figura 6.4.

I bioscrubber offrono stabilità operativa, cadute di pressione relativamente basse e controllo efficiente dei parametri di processo quali pH e dosaggio dei nutrienti. In confronto con la tecnologia biotrickling, il rischio di intasamento del materiale di supporto a causa della crescita di biomassa è evitato, possono essere trattate elevate portate di gas ed elevate concentrazioni di inquinanti e, data la rimozione dei prodotti di reazione ad opera del lavaggio, le concentrazioni di sottoprodotti tossici generati nel reattore sono contenute. Inoltre, rispetto alla convenzionale biofiltrazione e biotrickling, i bioscrubber offrono il vantaggio di produrre e sostenere una più grande quantità di biomassa microbica in un'unità di processo più compatta. Tra gli svantaggi dei bioscrubber, si possono riconoscere la produzione di rifiuti liquidi e il rischio di eccesso di produzione di fango. Inoltre, poiché il tempo di residenza degli inquinanti gassosi nell'unità di assorbimento è breve, il bioscrubbing è meno adatto per composti meno solubili in acqua (Tabella 6.2).

Applicazione

I bioscrubber trovano applicazione nell'industria chimica e petrolchimica e negli impianti di depurazione dei reflui (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016).

Figura 6.4: Rappresentazione schematica del funzionamento di un'unità di bioscrubber (Mudliar, 2010)

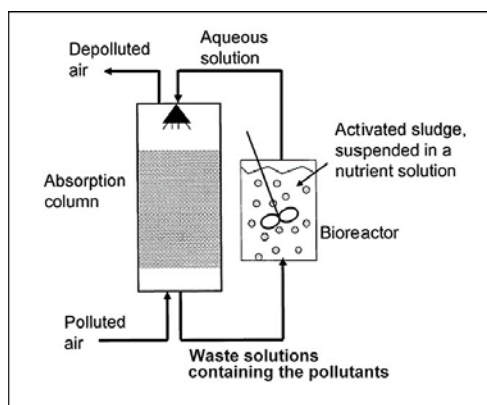


Tabella 6.2: Applicabilità del bioscrubber ai diversi gruppi di composti (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016)

Adatto	Generalmente adatto	Non adatto
Alcoli (metanolo, etanolo, butanolo, glicole, diglicole, butil glicole) Aldeidi e chetoni (formaldeide, acetaldeide, acetone, metil isobutil chetone, metil etil chetone) Acidi carbossilici e loro esteri (EDTA, acido acetico, acido propionico, acido butirrico, <i>n</i> -butil acetato, etil acetato, metil metacrilato, estere dell'acido glicolico) Fenoli (fenolo, cresolo) Mercaptani Ammine Composti eterociclici dello zolfo e dell'azoto Clorofenoli Idrogeno solforato	Naftalene Tioeteri Ammoniaci	Idrocarburi alifatici (metano, pentano, esano, idrocarburi a lunga catena, acetilene, cicloesano, ecc...) Idrocarburi aromatici (benzene, toluene, xylene, stirene), eccetto naftalene Eteri (tetraidrofurano, dietil etere, diossano) Disolfuro di carbonio Composti dell'azoto Idrocarburi alogenati (diclorometano, tricloro-etene, percloroetene, 1,1,1-tricloroetano, dicloruro di etilene, vinil cloruro), eccetto clorofenoli

Di seguito si riporta un confronto tra i diversi sistemi biologici di abbattimento descritti (Tabella 6.2):

Tabella 6.2: Confronto tra i sistemi biologici di abbattimento (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016)

		SISTEMI BIOLOGICI DI ABBATTIMENTO		
		Biofiltrazione	Biotrickling	Bioscrubber
Vantaggi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costi bassi di investimento e manutenzione</li> <li>• In combinazione con adsorbimento e assorbimento, adatto anche a composti difficilmente solubili</li> <li>• Elevata efficienza per composti biodegradabili, es. odorigeni</li> <li>• Bassa produzione di acqua di percolazione e materiale di rifiuto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costi medi di investimento e manutenzione</li> <li>• Adatto per medie concentrazioni di composti acidificanti che contengono zolfo, cloro e azoto</li> <li>• Bassa caduta di pressione</li> <li>• Costruzione compatta</li> <li>• Basso consumo di energia e quindi emissioni CO2 limitate</li> <li>• Limitato uso di additivi</li> <li>• Rimozione efficace in caso di picchi discontinui della concentrazione degli inquinanti</li> <li>• Migliore affidabilità di un biofiltro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevate concentrazioni di composti facilmente degradabili possono essere ridotte grazie all'azione microbica</li> <li>• Elevate concentrazioni di composti contenenti zolfo, cloro e/o azoto possono essere ridotte controllando il pH</li> <li>• I picchi emissivi possono essere meglio controllati che con un biofiltro o con biotrickling</li> </ul>	
Svantaggi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sostituzione del letto filtrante ogni 2-5 anni</li> <li>• Strutture voluminose</li> <li>• Rimozione non efficace in caso di picchi discontinui della concentrazione degli inquinanti</li> <li>• Rischio di intasamento del letto a causa di materiale particolato</li> <li>• Controllo dell'umidità e pH</li> <li>• Consumo energetico elevato nei casi in cui è necessario il raffreddamento del flusso di gas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• I composti scarsamente solubili sono più difficili da eliminare</li> <li>• Dosi elevate di nutrienti, per il trattamento di elevate concentrazioni di inquinante, possono portare all'intasamento del letto a causa della crescita della biomassa</li> <li>• Più complesso da costruire rispetto a un biofiltro</li> <li>• Il materiale di scarto prodotto necessita di trattamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La biomassa che si accumula deve essere smaltita come rifiuto poiché può causare il blocco dell'acqua di ricircolo</li> <li>• Adatto principalmente per composti facilmente solubili</li> <li>• I composti devono essere biodegradabili</li> <li>• Le fluttuazioni, ad es. il cambiamento delle concentrazioni e dei flussi di gas hanno un impatto significativo sulle prestazioni</li> <li>• L'acqua di percolamento deve essere trattata</li> </ul>	

### 6.1.5 Ozono e ultravioletti (UV)

L'ozono è un agente ossidante economico e conveniente che può reagire con un esteso range di sostanze maleodoranti come alcheni, ammine e composti organici solforati, producendo composti non odorigeni. Esistono diversi trattamenti alternativi ma il più comune e conveniente è quello dell'iniezione diretta di ozono generato sul posto da scariche elettriche controllate. Una modalità di azione simile a quella dell'ozono è quella esercitata dai raggi UV. Le possibili applicazioni dovrebbero essere valutate utilizzando un impianto pilota o l'esperienza ricavata da applicazioni simili, perché queste tecnologie non sono risultate altrettanto efficaci di quelle precedentemente descritte.

I vantaggi dell'ozono sono costituiti dalla semplicità e robustezza della tecnologia, dai bassi costi di esercizio (il fabbisogno di energia per la ventilazione è inferiore del 15-20% rispetto a quello richiesto da sistemi a biofiltro equivalenti), dall'adattabilità a vari flussi di ventilazione.

Le principali limitazioni sono dovute al lungo tempo di residenza dell'aria; alla natura altamente corrosiva dell'ozono; ai problemi di salute e sicurezza legati all'ozono, che è un gas tossico; alla possibile persistenza di odori pungenti da parte dell'ozono non reagito e agli effetti dell'ossidazione selettiva, che è molto efficace con alcuni gruppi di sostanze maleodoranti come alcheni, ammine e composti organici solforati, ma non lo è altrettanto con altri gruppi, quali chetoni, acidi carbossilici e esteri.

### 6.1.6 Ossidazione termica

L'ossidazione termica è il processo di ossidazione controllata dei gas combustibili e degli odoranti mediante riscaldamento con aria o ossigeno in una camera di combustione, nella quale è mantenuta una temperatura elevata per un tempo di contatto sufficiente a completare la combustione ad anidride carbonica e acqua. A seconda del contenuto inquinante del gas da trattare e delle condizioni operative dell'ossidatore termico, altri gas inquinanti possono essere presenti nei gas di scarico trattati come CO, HCl, HF, HBr, HI, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, COV, PCDD/PCDF, PCB e metalli pesanti. Quindi, a seconda della composizione del gas, può essere richiesto un trattamento a monte o un trattamento a valle aggiuntivo (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016).

L'ossidazione termica è particolarmente utile in presenza di sostanze con bassa solubilità in acqua, come i flussi gassosi contenenti oli minerali. I costi di investimento sono elevati e diventano sostenibili solo in combinazione con sistemi di recupero del calore.

L'ossidazione termica rigenerativa, in questo ambito, svolge un ruolo fondamentale.

In queste unità impiantistiche, il recupero dell'energia termica avviene al proprio interno attraverso l'utilizzo di letti ceramici aventi la funzione di volano termico, in grado di ricevere dal gas, accumulare e restituire al gas stesso calore utile alla sua combustione. Le moderne soluzioni prevedono un numero dispari di camere rigenerative, all'interno delle quali sono collocati i letti ceramici, che lavorano alternativamente al fine di contenere gli spot emissivi generati dalla commutazione del flusso gassoso (in una camera avviene il preriscaldamento, in un'altra l'ossidazione, nella terza lo scarico). Particolare importanza, quindi, deve essere prestata alla fase di valutazione progettuale, alla verifica del tempo di contatto alla temperatura di ossidazione prescritta in autorizzazione, nonché al posizionamento della termocoppia impiegata per la sua misura, in quanto elemento condizionante tutto il percorso di valutazione progettuale.

Variabili da monitorare: temperatura di ossidazione, funzionamento delle valvole di commutazione, temperatura dei letti ceramici.

### 6.1.7 Ossidazione catalitica

L'ossidazione catalitica opera in maniera simile all'ossidazione termica, ovvero sviluppa reazioni di ossidazione senza il raggiungimento delle temperature tipiche dell'ossidazione termica. Il gas passa attraverso un letto catalitico (letto fisso o letto fluido), con lo scopo di aumentare la resa di reazione di ossidazione, riducendo la temperatura richiesta per la conversione e permettendo di ridurre il volume dell'ossidatore. I catalizzatori utilizzati per l'ossidazione dei VOC sono tipicamente metalli preziosi quali platino, palladio e rodio su materiale ceramico ma possono essere impiegati anche gli ossidi basici di altri metalli, come il vanadio pentossido, il biossido di titanio o il biossido di manganese. La vita utile di un catalizzatore è di due o più anni, al termine della quale il catalizzatore deve essere rigenerato o smaltito.

È in genere prevista un'unità di preriscaldamento per raggiungere la temperatura di ossidazione catalitica.

Tale tecnologia trova applicazione nel settore dell'industria chimica (ad esempio produzione di prodotti chimici organici, gomme, polimeri, polietilene, polistirolo e resine poliestere), nonché in altri settori come l'industria della cellulosa e della carta.

Variabili da controllare o considerare nel controllo del processo: differenza di temperatura monte valle dell'unità (le reazioni di ossidazione sono esotermiche), tempi di contatto, perdite di carico del letto, velocità spaziale (intesa come il rapporto tra la portata di gas da trattare e il volume di catalizzatore: valori più consueti compresi tra 5.000 e 20.000 h<sup>-1</sup>).

È inoltre da considerare la formazione di ossidi di azoto in caso di presenza di molecole azotate nel gas grezzo (ad es. processi di tostatura del caffè) o di ossidi di zolfo per la presenza di sostanze solforate nel gas grezzo. È inoltre da prevenire l'esaurimento del catalizzatore per avvelenamento e/o per shock termici.

### 6.1.8 Neutralizzazione degli odori

Esiste sul mercato una vasta gamma di prodotti brevettati per neutralizzare o mascherare gli odori attraverso nebulizzazione di una soluzione del prodotto nell'aria ambiente da trattare. Tali prodotti agiscono in modo tale da ridurre la risposta del naso umano alla molestia olfattiva, riducendo l'intensità dell'odore percepita o rendendolo più gradevole. Poiché molti prodotti sono dotati di un loro "profumo" o comunque di un odore artificiale, possono contribuire a causare molestia olfattiva se usati a concentrazione troppo alta e/o in prossimità dei recettori. Ad oggi, non vi è ancora una oggettiva evidenza della loro effettiva efficacia ma possono essere di ausilio nel controllare l'impatto dell'odore soprattutto nell'industria che tratta i rifiuti organici.

## 6.2 INTERVENTI DI CONTROLLO E MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI ODORIGENE PER SPECIFICHE TIPOLOGIE DI IMPIANTI

L'applicazione della tecnologia di abbattimento ottimale per una specifica attività produttiva deve essere tale da conciliare:

- le specifiche operative, in termini di concentrazione degli inquinanti e portata da trattare,
- le efficienze di abbattimento desiderate nell'ottica di rispettare i limiti emissivi,
- i costi di acquisto e gestione dei sistemi.

In particolare, nella scelta della tecnologia da implementare è opportuno prendere in considerazione i seguenti parametri:

- la portata di odore delle emissioni;
- la concentrazione degli inquinanti odorigeni;
- le proprietà fisiche e chimiche delle molecole odorose, quali solubilità, acidità, basicità, polarità, adsorbibilità, biodegradabilità;
- l'efficienza di riduzione e la sua variazione nel tempo (specialmente quando vengono usati i catalizzatori);

- la generazione di inquinanti secondari;
- i consumi energetici;
- i limiti tecnici di impiego (ad es. temperatura, concentrazione massima degli inquinanti, contenuto di umidità);
- le necessità di spazio;
- i requisiti operativi e di manutenzione;
- i costi.

In aggiunta all'applicazione di specifiche tecnologie di abbattimento, la mitigazione e la riduzione delle emissioni può essere conseguita anche attraverso procedure di tipo gestionale che prevedono una stringente conoscenza della peculiarità del processo produttivo e delle sue sorgenti emissive. Infatti, nei documenti di riferimento, elaborati per l'individuazione delle Best Available Technologies (BAT), accanto all'identificazione delle tecnologie, cosiddette "end-of-pipe", vengono opportunamente descritte buone pratiche di gestione e accorgimenti di tipo impiantistico. In generale è opportuno prevedere, sin dalle fasi di progettazione di un impianto, lo svolgimento delle operazioni che danno luogo a rilevanti emissioni odorigene in capannoni chiusi e in depressione, procedendo a trattare opportunamente l'aria aspirata. Poiché i processi produttivi, potenzialmente in grado di generare emissioni odorigene, sono estremamente eterogenei, in questa sezione sarà effettuato un approfondimento sui possibili interventi di controllo e mitigazione relativamente ad alcune tipologie di attività, ritenute le più diffuse e per le quali esistono apposite documenti di riferimento: in particolare, impianti di trattamento di acque reflue, allevamenti intensivi, industria della raffinazione, impianti di trattamento dei rifiuti e discariche.

È bene sottolineare che, al di là delle singole peculiarità, i documenti di riferimento (BREF) per le differenti tipologie di impianto, indicano, in maniera generale per tutte, la necessità di una predisposizione, attuazione e riesame regolare, nell'ambito del piano di gestione ambientale, di un piano di gestione degli odori, quale BAT per la riduzione delle emissioni odorigene nonché per il loro controllo. Tale piano di gestione degli odori deve includere i seguenti elementi:

- un protocollo contenente le azioni appropriate e il relativo crono-programma;
- un protocollo per il monitoraggio degli odori;
- un protocollo delle misure da adottare in caso di odori molesti identificati;
- un programma di prevenzione ed eliminazione degli odori, teso ad identificarne la/e sorgente/i, monitorare le emissioni di odori, caratterizzare i contributi delle sorgenti e applicare misure di eliminazione e/o riduzione;
- un riesame degli eventi odorigeni e delle azioni correttive nonché la diffusione di conoscenze in merito a tali incidenti.

### 6.2.1 Impianti di trattamento delle acque reflue

La produzione di odori molesti negli impianti di trattamento delle acque reflue può essere influenzata da diversi fattori, quali composizione delle stesse, metodi e condizioni di trattamento (ad esempio temperatura, pH, tempo di ritenzione). Lo sviluppo di sostanze maleodoranti è quasi sempre da imputarsi a condizioni di anossia/anaerobiosi nelle fasi di trattamento: tale eventualità può essere una caratteristica intrinseca del processo o derivare da problemi di progettazione e conduzione dell'impianto (Lewkowska, 2016). Generalmente, le emissioni più rilevanti si verificano nei punti di raccolta e stoccaggio di materiali a forte carico organico (grigliatura, pozzetti di estrazione dei fanghi), nelle fasi caratterizzate da tempi di permanenza prolungati (ispessitori di fanghi freschi, digestori), nelle unità di processo nelle quali sono facilitati i fenomeni di volatilizzazione (pre-aerazione, disidratazione e trattamenti termici dei fanghi).

Di seguito si riportano indicazioni sulle principali criticità per le diverse fasi di trattamento.

#### Pre-trattamenti

- Sollevamento iniziale: l'utilizzo di sistemi (come ad esempio le coclee) con elevata turbolenza costituisce un punto critico di rilascio di composti organici volatili; se i collettori verso l'impianto di depurazione sono caratterizzati da lunghi tempi di percorrenza e scarsi tassi di aerazione è possibile che durante il trasporto si verifichino condizioni di anossia, con produzione di H<sub>2</sub>S, ammoniaca e altri composti derivanti dalla degradazione anossica o anaerobica.
- Scarico bottini e autobotti: tale sezione costituisce un punto critico di rilascio di VOC, H<sub>2</sub>S, ammoniaca e altri composti derivanti dalla degradazione anossica o anaerobica.
- Grigliatura: trattandosi di un refluo non ancora stabilizzato si possono avere elevate emissioni di VOC.
- Dissabbiatura: trattandosi di un refluo non ancora stabilizzato si possono avere elevate emissioni di VOC.
- Equalizzazione: in caso di vasca di equalizzazione aerata, le problematiche odorigene sono, di norma, limitate, sebbene l'insufflaggio di aria possa determinare lo strappaggio dei composti contenuti nel refluo; in caso di vasca non aerata, in funzione dei tempi di residenza, vi è il rischio di sviluppo di condizioni anossiche con produzione di H<sub>2</sub>S, ammoniaca e altri composti.

Trattamento primario

- Sedimentazione primaria: trattandosi di un refluo non ancora stabilizzato, con presenza di elevate masse organiche e di bacini con superficie libera ampia, sebbene scarsamente movimentati, si possono avere elevate emissioni di VOC.

Trattamento secondario

- Vasca a fanghi attivi: se l'impianto è correttamente gestito, le emissioni olfattive sono ridotte; l'emissione non è comunque completamente trascurabile, sia per le elevate superfici libere dei bacini, sia per lo strippaggio dei composti presenti nel refluo in ingresso per effetto dell'aerazione; tale sezione è, inoltre, la maggiore responsabile di emissioni di N<sub>2</sub>O, poiché vi avvengono i processi di rimozione biologica dell'azoto.
- Sedimentazione secondaria: trattandosi di un refluo già stabilizzato e di bacini scarsamente movimentati, nonostante la superficie libera sia ampia, le emissioni dovrebbero essere ridotte.

Trattamenti terziari

- Esistono vari tipi di trattamento terziario; in linea di massima, in tali sezioni non dovrebbero registrarsi criticità olfattive; emissioni olfattive potrebbero essere legate a un sovradosaggio di composti per la disinfezione (ad es. cloro).

Linea fanghi

- Ispessimento: il fango prodotto nei trattamenti della linea acque viene concentrato negli ispessitori; le emissioni di VOC sono notevoli soprattutto nel caso di pre-ispessimento perché il fango contiene una significativa porzione di fango non stabilizzato (soprattutto primario).
- Digestione anaerobica: con tale processo si producono CH<sub>4</sub>, ammoniaca e H<sub>2</sub>S; i reattori sono chiusi e le emissioni dovrebbero essere ridotte se l'impianto dispone di un adeguato sistema di raccolta e convogliamento del biogas prodotto, che dovrebbe essere depurato e riutilizzato per recupero energetico; poiché spesso tale gas viene semplicemente sfatato e bruciato in torce, il contributo emissivo può essere rilevante (composti odoriferi e gas serra).
- Digestione aerobica: se l'aerazione è sufficiente, tale processo dovrebbe determinare una minore produzione di composti odoriferi rispetto alla digestione anaerobica.
- Disidratazione: il processo riguarda fango già stabilizzato; tuttavia, il fango può contenere residui di composti odoriferi della digestione e la movimentazione (ad es. in centrifughe) può essere responsabile di emissioni elevate di VOC.

Al fine di ridurre al minimo le emissioni di odore in un impianto di trattamento delle acque reflue possono essere operate le seguenti misure tecnico – gestionali (Commission Implementing Decision (EU) 2016/902):

- minimizzare il tempo di permanenza delle acque reflue e dei fanghi nei sistemi di raccolta e stoccaggio, in particolare in condizioni anaerobiche;
- utilizzare sostanze chimiche per eliminare o ridurre la formazione di composti odorosi (ad esempio ossidazione o precipitazione di idrogeno solforato);
- ottimizzare il trattamento aerobico, ad es. attraverso il controllo del contenuto di ossigeno, la manutenzione frequente del sistema di aerazione, l'uso di ossigeno puro e/o la rimozione di schiuma nei serbatoi;
- dotare di coperture le strutture per la raccolta e il trattamento delle acque reflue e dei fanghi, in modo da raccogliere e successivamente trattare la relativa aria esausta odorigena;
- utilizzare le tecnologie di trattamento "end-of-pipe".

Il progettista dovrebbe prevedere delle misure di rimozione ad hoc anche prima dell'invio all'impianto di depurazione. Come misure preventive, infatti, si deve minimizzare il tempo di residenza nelle stazioni di pompaggio ed evitare l'uso di sifoni e lunghi tratti di condotti a circolazione forzata, in modo tale da prevenire la deposizione di solidi sospesi. Per nuovi impianti di trattamento reflui, il progettista dovrebbe eliminare le cosiddette "zone morte" dove i solidi si possono accumulare, favorendo la turbolenza (ad esempio mediante insufflazione d'aria) e ponendo attenzione alla progettazione del sistema di collettamento. La progettazione dei sistemi di collettamento ha un ruolo fondamentale nella produzione e nel rilascio degli odori: i fattori da tenere in considerazione sono costituiti dalla pendenza delle condotte, dalle strutture di transizione, dai passi d'uomo, dalla prossimità al recettore, dai sifoni invertiti (da evitare) e dalle condotte forzate. In genere, risulta necessario fornire al refluo da trasportare un'energia per unità di volume tale da assicurare il mantenimento dei solidi sospesi totali in movimento, ma dovrebbe essere evitata l'eccessiva aerazione che potrebbe determinare la generazione di odore dovuta alla troppa turbolenza, a causa dell'effetto di strippaggio. Tuttavia, il fattore turbolenza incide anche sul trasferimento di massa dei solfuri dalla fase liquida a quella gassosa (aria), per cui risulta fondamentale ottimizzare la turbolenza liquida in modo da minimizzare il trasferimento di solfuri dalla fase liquida all'aria, tenendo conto delle seguenti misure in fase di progettazione:

- minimizzare le differenze di elevazione dove ci sono correnti convergenti;
- introdurre correnti collaterali al di sotto del pelo libero;
- evitare eccessiva o non necessaria aerazione;

- evitare l'uso di dispositivi di sollevamento a "coclea" su correnti liquide odorigene.

In Tabella 6.3 si riportano schematicamente alcune indicazioni gestionali, utili per la riduzione delle emissioni odorigene dalle varie fasi di trattamento.

Tabella 6.3: Interventi gestionali per ridurre le emissioni di odori

Fase di trattamento	Intervento
<i>Intero impianto</i>	Effettuare possibilmente interventi di manutenzione programmata (a rischio emissioni odorigene) in condizioni ottimali (orari selezionati in funzione della valutazione dei dati meteo: temperature dell'aria, direzione e intensità vento, regime barico, previsione attesa).
<i>Sollevamento</i>	In caso di reflui che provengono da zone lontane dal depuratore e che subiscono diversi sollevamenti e/o rilanci intermedi, intervenire sulla modalità (frequenza) di funzionamento delle pompe, in modo da minimizzare i tempi di ristagno.
<i>Grigliatura</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Lavare con frequenza le macchine deputate alla grigliatura (griglie, rotostacci,...) con acqua contenente una minima quantità di cloro attivo.</li> <li>● Raccogliere il grigliato/vaglio all'interno di appositi sacchi che presentano una struttura porosa, in modo da consentire il deflusso e la raccolta dell'acqua percolante evitando la diffusione di aria odorosa.</li> <li>● Assicurare la chiusura dei cassonetti di raccolta del grigliato tra un carico e il successivo.</li> <li>● Allontanare il materiale con la massima frequenza.</li> </ul>
<i>Dissabbiatura/disoleatura</i>	Allontanare il materiale con la massima frequenza.
<i>Equalizzazione</i>	Mantenere il refluo in condizioni aerobiche assicurando un'aerazione sufficiente.
<i>Sedimentazione primaria</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Garantire l'efficienza del sistema di raccolta ed eliminazione del materiale galleggiante.</li> <li>● Garantire la pulizia della canaletta di raccolta dell'effluente.</li> <li>● Estrarre il fango regolarmente per limitare i tempi di permanenza ed evitare lo sviluppo di condizioni anaerobiche.</li> </ul>
<i>Ossidazione biologica</i>	Assicurare una sufficiente aerazione, utilizzando sistemi di controllo tali da garantire che la concentrazione di ossigeno disciolto sia compreso tra 1,5 mg/l e 3 mg/l.
<i>Ispessimento a gravità</i>	Regolare la frequenza di estrazione del fango in modo che la concentrazione dei solidi non sia al di sotto del valore di progetto (indicativamente 3-4%).
<i>Ispessimento meccanico</i>	Effettuare il lavaggio della macchina con acqua al termine dell'utilizzo giornaliero.
<i>Stabilizzazione aerobica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Assicurare le condizioni di processo (età del fango, ossigeno disciolto) che garantiscano un rapporto SV/ST &lt; 0,65 (valore indicativo).</li> <li>● Mantenere una concentrazione minima di ossigeno disciolto pari a 1 mg/l.</li> </ul>
<i>Stabilizzazione anaerobica</i>	Assicurare le condizioni di processo (età del fango, temperatura, pH, alcalinità, ecc.) che garantiscano un rapporto SV/ST < 0,65 (valore indicativo), accompagnato da una idonea produzione di biogas.
<i>Disidratazione meccanica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Effettuare il lavaggio della macchina con acqua al termine dell'utilizzo giornaliero.</li> <li>● Ridurre al minimo i tempi di disidratazione e concentrare gli interventi se effettuati con dispositivo mobile.</li> <li>● Ridurre al minimo i tempi di permanenza in impianto del cassone di raccolta (max 2 giorni, possibilmente evacuazione giornaliera), coprendo il medesimo con un telo.</li> <li>● Eventualmente, dosare insieme al polielettrolita un prodotto per ridurre la formazione di esalazioni maleodoranti (mercaptani).</li> </ul>

In aggiunta all'adozione di misure preventive tecnico-gestionali, si rende pressoché necessaria l'applicazione delle tecnologie di trattamento "end of pipe", da individuare tra quelle più idonee descritte al par.6.2 e contemplate dalle Best Available Technologies (BAT) e descritte nei documenti di riferimento (BREF) dell'Ufficio europeo per l'IPPC (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016).

Tra le nuove tecnologie, si può annoverare la Activated Sludge Diffusion (AS diffusion), che consiste nell'insufflare direttamente in vasca di ossidazione le emissioni gassose delle altre sezioni di impianto a seguito di preventiva copertura e convogliamento: in tal modo è possibile biodegradare i composti odorigeni. Tale processo è vantaggioso dal punto di vista economico e gestionale, in quanto utilizza vasche già presenti nell'impianto; il suo uso risulta oggetto di ricerca per ciò che riguarda gli effetti sul processo di depurazione, l'efficacia reale nella rimozione degli odori (dimostrata per l'abbattimento dei solfuri, da verificare su altre classi di composti osmogeni) e le effettive conseguenze sui processi biodegradativi e sulle biomasse (Lewkowska, 2016; Lebrero, 2011).

Negli impianti di trattamento di acque reflue per abbattere gli odori e assorbire gli inquinanti può essere impiegato anche il biochar, materiale carbonioso vegetale, rinnovabile ed economico, prodotto da materiali di scarto come biomassa e rifiuti organici (s. Lee et al., 2023)

Un altro innovativo sistema per il trattamento sostenibile delle emissioni gassose complesse derivanti dal trattamento delle acque reflue è di tipo biologico integrato. Il sistema proposto è costituito da un reattore a biofilm a letto mobile accoppiato ad un fotobioreattore algale, con il duplice obiettivo di: i) ridurre la concentrazione in ingresso dei contaminanti odorigeni (in questo caso, l'idrogeno solfuro, toluene e p-xilene); ii) la cattura e la conversione delle emissioni di biossido di carbonio prodotte (Pasquarelli et al., 2024).

## 6.2.2 Allevamenti intensivi

L'emissione di sostanze odorogene da impianti di allevamento intensivo è generata durante tutte le fasi connesse alle attività di produzione. La complessa miscela di composti odorigeni emessi può variare a seconda della tipologia di animali; essa proviene principalmente dalla decomposizione microbica dei mangimi (proteine e carboidrati fermentabili) nel tratto intestinale degli animali e dalla degradazione microbica di composti urinari e fecali nel letame in condizioni anaerobiche. Tra i composti odorigeni più abbondanti, si possono annoverare i composti dello zolfo (ad es. H<sub>2</sub>S, mercaptani), composti indolici e fenolici, acidi grassi volatili (ad es. acido acetico, acido n-butyrico), ammoniaca e ammine volatili. La formazione dell'odore è intrinsecamente determinata dagli stessi animali, dal loro cibo e dal sistema di gestione del letame. Può essere anche influenzato da variazioni giornaliere e stagionali, in dipendenza del clima e attività degli animali. Inoltre, la quantità di odore è determinata anche dalla portata di ventilazione dei ricoveri e dalla concentrazione di odore esausto (Ubeda, 2013).

In generale, è possibile attuare alcuni accorgimenti gestionali per ridurre l'emissione di odore, quali (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs, 2017):

- operare una buona pulizia;
- conservare, sotto una copertura, il letame stoccato all'esterno;
- impedire il passaggio di una corrente d'aria al di sopra del letame;
- mantenere il letame, in condizioni aerobiche, per abbattere rapidamente le sostanze odorose.

È possibile minimizzare l'impatto odorigeno agendo sulla riduzione della formazione di odori, impiegando tecniche "end of pipe" e migliorando la dispersione.

In particolare, si può agire sulla formazione degli odori attraverso la modificazione della dieta, l'uso di additivi, l'impiego di ricoveri a bassa emissione e l'adozione di sistemi di gestione del letame. L'efficacia di queste strategie può differire tra le differenti specie animali. La modificazione della dieta animale può essere un modo pratico per limitare l'impatto emissivo sull'ambiente intervenendo sul controllo della quantità e composizione del letame prodotto e delle emissioni gassose associate e sulla produzione di CH<sub>4</sub> enterico (Ubeda, 2013; Loyon, 2016). La modificazione della dieta è elencata, quale BAT nel documento di riferimento BREF per allevamenti di suini e pollame (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs, 2017). La modificazione della dieta animale può influenzare il livello di azoto, fosforo e oligoelementi senza penalizzare la salute, il benessere o la performance animale. Nei maiali da ingrasso, ad esempio, un'alimentazione a ridotto contenuto proteico, integrata con aminoacidi può ridurre l'escrezione di azoto del 25-50% e portare a un pH più basso e quindi ad una riduzione della successiva emissione di NH<sub>3</sub> (Dourmad and Jondreville, 2007).

Una sorgente significativa di emissioni odorogene è rappresentata dai ricoveri degli animali, principalmente per la presenza di letame. La produzione di questi gas può essere influenzata dal tipo di pavimento, dal sistema di ventilazione, dalla temperatura dell'edificio e dalle caratteristiche del letame (Loyon, 2016). La riduzione delle emissioni provenienti dai ricoveri è in gran parte perseguibile attraverso l'adozione di buone pratiche di gestione (come la rimozione frequente e/o essiccazione del letame), dal mantenimento di buone condizioni nelle strutture di ricovero (ventilazione e temperatura adeguate) e dall'uso di tecniche "end of pipe". In alcuni casi, il tipo di pavimento può anche avere un'influenza sulla riduzione delle aree emissive superficiali. I sistemi scrubber per ridurre l'emissione di NH<sub>3</sub> da ricoveri di maiali e pollame sono descritti nel documento di riferimento BREF (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs, 2017) ma sono raramente applicabili ai ricoveri di bovini perché questi, di solito, usano una ventilazione naturale rispetto ai ricoveri di maiali e pollame che spesso sono chiusi con ventilazione forzata.

Per gli allevamenti intensivi di pollame e suini, il documento sulle migliori tecniche disponibili BAT (Commission Implementing Decision EU 2017/302), fornisce indicazioni per prevenire o, laddove ciò non sia fattibile, ridurre le emissioni/gli impatti degli odori; di seguito, in Tabella 6.4 se ne riporta un estratto:

Tabella 6.4: Estratto BAT 13 (Commission Implementing Decision EU 2017/302)

	Tecnica	Applicabilità
a)	Garantire distanze adeguate fra l'azienda agricola/ impianto e i recettori sensibili	Potrebbe non essere generalmente applicabile alle aziende agricole o agli impianti esistenti
b)	<p>Usare un sistema di stabulazione che applica uno dei seguenti principi o una loro combinazione:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mantenere gli animali e le superfici asciutti e puliti (per esempio evitare gli spandimenti di mangime, le deiezioni nelle zone di deposizione di pavimenti parzialmente fessurati),</li> <li>- ridurre le superfici di emissione degli effluenti di allevamento (per esempio usare travetti di metallo o plastica, canali con una ridotta superficie esposta agli effluenti di allevamento),</li> <li>- rimuovere frequentemente gli effluenti di allevamento e trasferirli verso un deposito di stoccaggio esterno,</li> <li>- ridurre la temperatura dell'effluente (per esempio mediante il raffreddamento del liquame) e dell'ambiente interno,</li> <li>- diminuire il flusso e la velocità dell'aria sulla superficie degli effluenti di allevamento,</li> <li>- mantenere la lettiera asciutta e in condizioni aerobiche nei sistemi basati sull'uso di lettiera.</li> </ul>	La diminuzione della temperatura dell'ambiente interno, del flusso e della velocità dell'aria può essere limitata da considerazioni relative al benessere degli animali. La rimozione del liquame mediante ricircolo non è applicabile agli allevamenti di suini ubicati presso recettori sensibili a causa dei picchi odoriferi.
c)	<p>Ottimizzare le condizioni di scarico dell'aria esausta dal ricovero zootecnico mediante l'utilizzo di una delle seguenti tecniche o di una loro combinazione:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- aumentare l'altezza dell'apertura di uscita (per esempio oltre l'altezza del tetto, camini, deviando l'aria esausta attraverso il colmo anziché la parte bassa delle pareti),</li> <li>- aumentare la velocità di ventilazione dell'apertura di uscita verticale,</li> <li>- collocamento efficace di barriere esterne per creare turbolenze nel flusso d'aria in uscita (per esempio vegetazione), aggiungere coperture di deflessione sulle aperture per l'aria esausta ubicate nella parti basse delle pareti per deviare l'aria esausta verso il suolo,</li> <li>- disperdere l'aria esausta sul lato del ricovero zootecnico opposto al recettore sensibile,</li> <li>- allineare l'asse del colmo di un edificio a ventilazione naturale in posizione trasversale rispetto alla direzione prevalente del vento.</li> </ul>	L'allineamento dell'asse del colmo non è applicabile agli impianti esistenti.
d)	<p>Uso di un sistema di trattamento aria, quale:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bioscrubber (o filtro irrorante biologico);</li> <li>2. Biofiltro;</li> <li>3. Sistema di trattamento aria a due o tre fasi.</li> </ol>	Questa tecnica potrebbe non essere di applicabilità generale a causa degli elevati costi di attuazione. Applicabile agli impianti esistenti solo dove si usa un sistema di ventilazione centralizzato. Il biofiltro è applicabile unicamente agli impianti a liquame. Per un biofiltro è necessaria un'area esterna al ricovero zootecnico sufficiente per collocare gli insiemi di filtri.
e)	<p>Utilizzare una delle seguenti tecniche per lo stoccaggio degli effluenti di allevamento o una loro combinazione:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coprire il liquame o l'effluente solido durante lo stoccaggio;</li> <li>2. Localizzare il deposito tenendo in considerazione la direzione generale del vento e/o adottare le misure atte a ridurre la velocità del vento nei pressi e al di sopra del deposito (per esempio alberi, barriere naturali);</li> <li>3. Minimizzare il rimescolamento del liquame.</li> </ol>	
f)	<p>Trasformare gli effluenti di allevamento mediante una delle seguenti tecniche per minimizzare le emissioni di odori durante o prima dello spandimento agronomico:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Digestione aerobica (aerazione) del liquame;</li> <li>2. Compostaggio dell'effluente solido;</li> <li>3. Digestione anaerobica.</li> </ol>	
g)	<p>Utilizzare una delle seguenti tecniche per lo spandimento agronomico degli effluenti di allevamento o una loro combinazione</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Spandimento a bande, iniezione superficiale o profonda per lo spandimento agronomico del liquame;</li> <li>2. Incorporare effluenti di allevamento il più presto possibile</li> </ol>	

In aggiunta all'adozione di misure preventive tecnico-gestionali, si rende pressoché necessaria l'applicazione delle tecnologie di trattamento "end of pipe", da individuare tra quelle più idonee contemplate dalle Best Available Technologies (BAT) e descritte nei documenti di riferimento (BREF) dell'Ufficio europeo per l'IPPC (Commission Implementing Decision EU 2017/302, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs, 2017).



### 6.2.3 Industria della Raffinazione del petrolio

I fenomeni odorigeni nell'industria della raffinazione del greggio si originano prevalentemente da composti solforati (acido solfidrico, mercaptani, solfuri, disolfuri), composti azotati (ammoniaca, ammine), idrocarburi (in particolare aromatici). Le principali sorgenti di odore all'interno di una raffineria sono: gli stoccaggi (in particolare serbatoi di grezzi acidi), l'unità produttiva dei bitumi, i reflui liquidi del desalter, le aste fognarie, l'unità di flottazione ad aria (DAF), il separatore API<sup>3</sup>, la vasca biologica dell'impianto di trattamento reflui di raffineria, i processi di sfacciamento delle torce con bassa efficienza di combustione. La Tabella 6.5 riporta le probabili sostanze odorigene coinvolte associate alla sorgente di emissione (Jafarnejad, 2016).

Tabella 6.5: Sostanze odorigene associate alle sorgenti di raffineria

Tipo di odore	Composti odorigeni	Sorgenti di odore
Uova marce	Acido solfidrico e disolfuri	Aree stoccaggi grezzo, unità di distillazione, unità di desolforazione Claus, torce
Odore di fogna	Metil, dimetil ed etil solfuro, mercaptani	Effluenti liquidi, impianto di trattamento acque di processo, odorizzazione GPL, movimentazione sode esauste
Olio bruciato	Idrocarburi insaturi	Unità di cracking catalitico, unità di soffiaggio bitumi e stoccaggio
Benzina	Idrocarburi	Stoccaggi prodotti, separatori API e CPI (corrugated plate interceptor)
Aromatici	Benzene, toluene, idrocarburi	Unità estrazione aromatici, reforming catalitico

Nel seguito sono riportate alcune tecniche di mitigazione degli odori impiegabili nelle raffinerie di grezzo.

- L'impiego di nitrati (come il nitrato di calcio) previene la formazione di molestie olfattive in aree dove vi sono acque inquinate da batteri che porterebbero alla formazione di composti dello zolfo allo stato ridotto (presso serbatoi di stoccaggio, aste fognarie, separatori olio/acqua), favorendo lo sviluppo di batteri denitrificanti, in maniera tale da ridurre i nitrati ad azoto e, nel contempo, ossidare l'H<sub>2</sub>S presente a solfato (SO<sub>4</sub>)<sup>-</sup>. Inoltre, siccome per riprodursi i batteri utilizzano l'ossigeno, dapprima quello sotto forma di O<sub>2</sub> libero disciolto, poi quello contenuto nei nitrati, infine quello contenuto nei solfati, in assenza di nitrati o se non sono sufficientemente presenti nei reflui di raffineria, si ha la formazione di H<sub>2</sub>S a spese dei solfati. A pH 7 lo ione bisolfito (HSO<sub>3</sub>)<sup>-</sup> e il solfuro di idrogeno H<sub>2</sub>S in soluzione acquosa sono equamente proporzionati. Il valore del pH, la legge di Henry sugli equilibri di solubilità dei gas nei liquidi e la turbolenza governano la velocità di trasferimento dalla fase liquida all'atmosfera: al diminuire del pH aumenta lo sviluppo di H<sub>2</sub>S in soluzione acquosa e con l'aumentare della turbolenza aumenta il trasferimento dello stesso in atmosfera. Se tale trasferimento avviene all'interno di aste fognarie di materiale metallico, i batteri in presenza di ossigeno portano alla trasformazione di H<sub>2</sub>S in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con conseguenti problemi di corrosione per la superficie metallica, che si aggiungono alle molestie olfattive. Per ulteriori approfondimenti sulla tematica nitrati si rimanda al BREF raffinerie (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Refining of Mineral Oil and Gas, 2015), capitolo 4.23.9 relativo alle tecniche di prevenzione e controllo degli odori;
- La idonea copertura dei separatori olio/acqua (separatori API/CPI) impedisce il rilascio in atmosfera per evaporazione di composti organici volatili (VOC) e la generazione correlata di odori. Tale copertura in genere viene attuata con pannelli fissi o mobili di alluminio o materiale plastico. La copertura fissa presenta delle problematiche gestionali relative a presenza di vapori esplosivi che si generano in spazio confinato sopra la fase liquida, pertanto si devono prevedere appositi trattamenti di recupero vapori ed adeguata inertizzazione degli spazi confinati per prevenire esplosioni. Per ulteriori approfondimenti sulla tematica copertura separatori olio/acqua, si rimanda al BREF raffinerie, capitolo 4.24.7.1 relativo alla riduzione degli odori dagli impianti di trattamento acque reflue di raffineria (WWTP);
- I serbatoi polmone a cielo aperto che si trovano a monte/valle del separatore API/CPI, dovrebbero avere sempre in superficie un livello controllato di battente d'olio al fine di minimizzare il trasferimento in aria di sostanze maleodoranti. Inoltre, per gli impianti esistenti è buona prassi dotarli di copertura a tetto galleggiante o usare preesistenti serbatoi a tetto galleggiante per

<sup>3</sup> Apparecchiatura progettata per separare grossi quantitativi di oli e solidi sospesi dagli effluenti liquidi di raffineria e di altre tipologie di impianti, effettuando una separazione gravimetrica sulla base della differenza di densità tra gli oli e l'acqua; prende il nome dal fatto che segue gli standard di progetto dell'American Petroleum Institute

lo stoccaggio dei reflui liquidi di raffineria da sottoporre al ciclo di trattamento. Per ulteriori approfondimenti sulla tematica si rimanda al BREF raffinerie, capitolo 4.24.7.2.;

- Adeguata applicazione di programma LDAR (leak detection and repair) sulla componentistica di linee di processo responsabili del rilascio di VOC;
- Adeguato monitoraggio delle torce, con particolare riferimento al controllo e alla gestione in tempo reale dell'efficienza di distruzione dei composti ivi inviati (> 99%) e alla riduzione delle emissioni dalle torce attraverso l'attuazione di piani operativi di minimizzazione emissioni, che passano anche attraverso una corretta pianificazione e gestione delle operazioni di manutenzione delle unità di processo di raffineria.

#### 6.2.4 Impianti di trattamento rifiuti

Il settore del trattamento dei rifiuti include numerose tipologie di impianti, vista la grande diversità tra le singole tipologie di rifiuti, a seconda della provenienza, della merceologia e della composizione.

Le Best Available Technologies (BAT) per il settore del trattamento dei rifiuti sono esposte nella Decisione di Esecuzione (UE) 2018/1147 e nel documento di riferimento (BREF) (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment, 2018) e risultano essere una combinazione di elementi "generici" comunemente applicabili ed elementi "specifici dell'attività", riferiti al caso particolare preso in esame.

I riferimenti di carattere generale forniti dal documento in merito al monitoraggio degli odori ed alle tecniche di prevenzione e controllo delle emissioni diffuse e fuggitive consistono nell'utilizzare una o una combinazione delle tecniche indicate di seguito:

- *Minimizzare i tempi di residenza.* Ridurre al minimo il tempo di permanenza dei rifiuti (potenzialmente) odorosi negli impianti di stoccaggio o di movimentazione, in particolare in condizioni anaerobiche. Se rilevanti, predisporre l'adozione di disposizioni adeguate per l'accettazione dei rifiuti nei periodi di picchi stagionali;
- *Ottimizzazione del trattamento aerobico.* Nel caso del trattamento aerobico di rifiuti liquidi a base di acqua, può includere: uso di ossigeno puro, rimozione della schiuma nei serbatoi, manutenzione frequente del sistema di aerazione.
- *Uso del trattamento chimico.* Usare prodotti chimici per distruggere o ridurre la formazione di composti odorosi (per esempio per ossidare o precipitare l'idrogeno solforato). Non applicabile se di ostacolo alla definizione della qualità di output desiderata.
- *Minimizzazione del numero delle potenziali sorgenti di emissioni diffuse.*

Il documento riporta elementi specifici in merito agli odori in relazione agli impianti di trattamento biologico dei rifiuti. All'interno di questa macrocategoria di trattamento rifiuti, le BAT individuate al fine di ridurre le emissioni convogliate in atmosfera di composti organici e composti odorosi, compresi H<sub>2</sub>S e NH<sub>3</sub>, consistono nell'utilizzare una o una combinazione delle tecniche indicate di seguito:

- Adsorbimento;
- Biofiltrazione con un eventuale stadio di pretrattamento ad umido (a tal proposito si rimanda al cap. 6.1.4.1 del presente documento);
- Scrubber ad umido, ad acqua, acidi o alcalini in combinazione con altri sistemi di abbattimento delle emissioni.

Nello specifico del trattamento biologico dei rifiuti, per gli impianti di compostaggio, in relazione alle fasi di trattamento all'aria aperta, la BAT consiste nell'utilizzare una o entrambe le tecniche indicate di seguito:

- uso di coperture a membrana semipermeabili per cumuli di compostaggio.
- adattamento delle attività di lavorazione alle condizioni meteorologiche. È opportuno considerare le condizioni e le previsioni meteorologiche quando si intraprendono importanti attività di processo all'aperto. Ad esempio, evitare la formazione o la rotazione di cumuli o la triturazione in caso di condizioni meteorologiche avverse in termini di dispersione delle emissioni.

Il documento fornisce infine alcuni riferimenti specifici anche per il trattamento di digestione anaerobica per il quale prevede che, al fine di ridurre le emissioni nell'atmosfera e migliorare le prestazioni ambientali complessive, la BAT consiste nel monitorare e/o controllare i principali parametri di processo. È inoltre opportuno implementare un sistema di monitoraggio manuale e/o automatico per:

- assicurare un funzionamento stabile del digestore;
- minimizzare le criticità operative, come la formazione di schiuma, che può portare ad emissioni di odori;
- fornire un preavviso sufficiente dei guasti del sistema che possono portare a perdite o incidenti.

All'interno della panoramica degli impianti di trattamento dei rifiuti, il documento pone quindi l'attenzione sugli impianti di trattamento biologico dei rifiuti per la problematica delle emissioni odorigene. Tali processi infatti, risultano essere in genere fonte di impatto sul territorio in cui si insediano, sia per il carico odorigeno intrinseco delle matrici che trattano, in alcuni casi aggravato dalla scarsa qualità

delle frazioni derivanti dalle raccolte differenziate, sia perché richiedono particolare attenzione in fase progettuale e gestionale per la riduzione ed il contenimento delle emissioni odorigene.

### 6.2.5 Impianti di discarica

Le emissioni di sostanze odorigene da un impianto di discarica derivano principalmente dalla produzione di gas a seguito della degradazione della materia organica in condizioni di anaerobiosi.

In aggiunta al rilascio di gas di discarica da aree non coperte, possono essere riconosciute altre sorgenti potenziali di emissioni odorigene:

- presenza di rifiuto fresco;
- trattamento del percolato e stoccaggio;
- gas incombusti da motori e torce
- rilasci di gas di discarica oltre il confine a causa di fenomeni di migrazione.

La composizione delle emissioni odorigene prodotte è influenzata dalla tipologia del materiale di rifiuto ricevuto in discarica e l'avanzamento del processo di degradazione all'interno della massa del rifiuto determina cambiamenti nella composizione dei gas generati in parti di discarica di differenti età. In generale, una discarica rappresenta un sistema dinamico soggetto a cambiamenti durante il suo ciclo di riempimento, in considerazione di:

- stato di avanzamento del riempimento;
- quantità di rifiuti conferiti;
- tipologia del rifiuto conferito;
- capping e sistema di captazione del biogas.

Tra le potenziali sorgenti odorigene, le aree di conferimento, sebbene limitate rispetto all'estensione totale del sito, contribuiscono in maniera rilevante alla portata odorigena emessa dalla discarica, a causa del rilascio non confinato e della movimentazione del rifiuto. I composti rilasciati differiscono da quelli contenuti nel biogas, in quanto contengono tipicamente meno composti solforosi e tracce di composti quali limonene e pinene. In condizioni normali, un'area con copertura permanente ed estrazione efficiente del biogas non rappresenta una sorgente significativa di emissioni fuggitive.

È doveroso considerare che le emissioni odorigene possono verificarsi anche prima dell'effettivo conferimento sul sito, nella fase di trasporto verso la discarica. Infatti, non è da trascurare il contributo delle emissioni fuggitive derivanti durante il percorso dei mezzi di trasporto attraverso le aree residenziali verso la discarica e la sosta dei veicoli, ad es. durante l'attesa dell'apertura dell'impianto o in coda alla pesa. Inoltre, fattori stagionali dovuti alla temperatura ambiente ed al suo effetto sulla velocità di degradazione del rifiuto conferito, oltre che l'azione delle variabili meteorologiche (velocità e direzione del vento, umidità, radiazione solare, precipitazione, turbolenza) influenzano l'emissione odorigena; in aggiunta, poiché i siti di discarica non ricevono rifiuti in continuo, possono verificarsi fluttuazioni giornaliere dovute all'attività di conferimento e ai successivi ricoprimenti giornalieri.

Gli interventi preventivi per l'emissione di sostanze odorigene possono riguardare interventi di progettazione e di gestione del sito produttivo. Di seguito, si riportano alcuni accorgimenti relativi alla progettazione e alla gestione:

- individuare un sito distante da recettori sensibili per la localizzazione di nuovi impianti;
- direzionare i veicoli di trasporto su percorsi distanti da recettori sensibili e assicurare una rapida gestione del conferimento in modo da evitare soste prolungate all'interno o all'esterno dell'impianto;
- evitare accumuli di percolato all'aperto;
- stoccare il percolato in serbatoi sigillati ed effettuare il trasporto all'impianto di trattamento attraverso tubi di aspirazione;
- dimensionare le celle in modo da ottimizzare il capping e la captazione del biogas;
- effettuare una copertura giornaliera e, se necessario, intermedia con materiale inerte;
- effettuare una frequente manutenzione del sistema di captazione del biogas, al fine di individuare danni e/o difetti che possono determinare emissioni fuggitive;
- disporre di specifici criteri e protocolli di accettazione dei rifiuti;
- individuare le tipologie di rifiuto ad alto rischio di emissione odorigena e definire, per questi, specifiche modalità di ammissione e gestione più restrittive;
- definire, nel piano di sorveglianza e controllo (D.Lgs. 36/2003), una specifica sezione dedicata alle emissioni odorigene, con particolare riferimento alle misure di prevenzione e di protezione adottate, i parametri da monitorare e la frequenza dei monitoraggi (Piano di Gestione degli Odori).

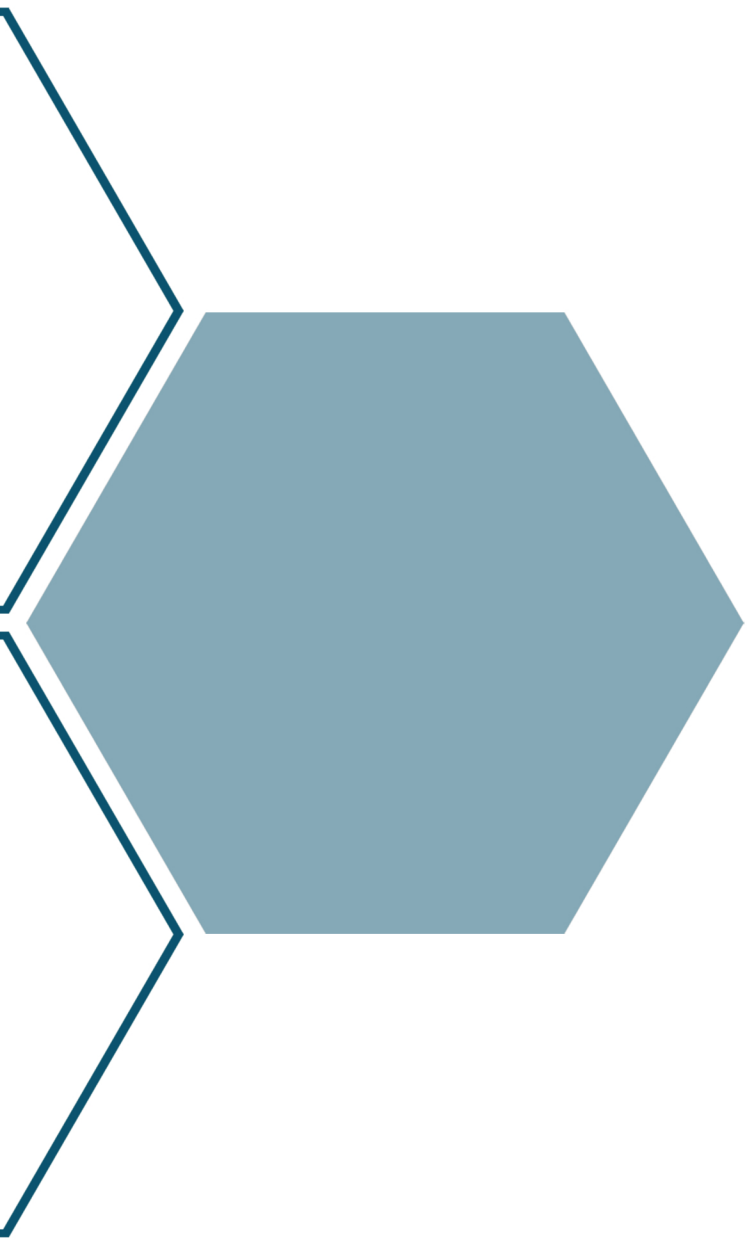
## BIBLIOGRAFIA GENERALE

- Aatamila M., Verkasalo P.K.; Korhonen M.J., Suominen A.L., Hirvonen M.-R., Viluksela M.K., Nevalainen, A., 2011. Odour annoyance and physical symptoms among residents living near waste treatment centres. *Environ. Res.*, 111, 164–170.
- AFNOR, 1993. Association Française de Normalisation. NF X 43-103: Qualité de l'air - Mesurage de l'odeur d'une Atmosphere gazeuse - Methode supraliminaire. AFNOR, La Defense.
- AMIGO & Olores.org, 2023. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure using Dispersion Modelling. ISBN 978-84-09-52429-7, DOI: 10.5281/zenodo.8367724.
- ANPA, Centro Tematico Nazionale Atmosfera Clima ed Emissioni, "I modelli nella valutazione della qualità dell'aria", CTN\_ACE 2/2000.
- APAT, Centro Tematico Nazionale Atmosfera Clima ed Emissioni, "La micrometeorologia e la dispersione degli inquinanti in aria", CTN\_ACE 2003.
- ASTM, 2011. American Society for Testing and Materials. ASTM E679-04. Standard Practice for Determination of Odor and Taste Thresholds by a Forced-Choice Ascending Concentration Series Method of Limits. ASTM, West Conshohocken.
- Barbusinski K., Kalemba K., Kasperczyk D., Urbaniec K., Kozik V., 2017. Biological methods for odor treatment - A review, *Journal of Cleaner Production*, 152, 223-241.
- Barthe P., Chaugny M., Roudier S., Delgado Sancho L., 2015. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Refining of Mineral Oil and Gas.
- Blazy V., de Guardia A., Benoist J.C., Daumoin M., Guizhou F., Lemasle M., Wolbert D., Barrington S., 2015. Correlation of chemical composition and odor concentration for emissions from pig slaughterhouse sludge composting and storage, *Chemical Engineering Journal*, 276, 398–409.
- Bonmati A., Grimm E., Sommer S.G., 2016. Best available technology for European livestock farms: Availability, effectiveness and uptake, *Journal of Environmental Management*, 166, 1-11.
- Brancher M., Griffiths K. D., Franco D., de Melo Lisboa H., 2017. A review of odour impact criteria in selected countries around the world, *Chemosphere*, 168, 1531-1570.
- Brattoli M., Cisternino E., Dambrosio P. R., de Gennaro G., Giungato P., Mazzone A., Palmisani J., M. Tutino, 2013. Gas Chromatography Analysis with Olfactometric Detection (GC-O) as a Useful Methodology for Chemical Characterization of Odorous Compounds, *Sensors*, 13, 16759-16800.
- Brinkmann T., Santonja G. G., Yükseler, H., Roudier S., Delgado Sancho L., 2016. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector.
- Capelli L., Sironi S., Del Rosso R., Guillot J.-M., 2013. Measuring odours in the environment vs. dispersion modelling: A review, *Atmospheric Environment*, 79, 731-743.
- Commission implementing decision (EU) 2016/902 of 30 May 2016, Official Journal of the European Union.
- D.Lgs. 13 gennaio 2003, n. 36, Attuazione delle direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti, Gazzetta Ufficiale 12 marzo 2003, n. 59.
- Dalton P., Caraway E.A., Gibb H., Fulcher K., 2011. A Multi-Year Field Olfactometry Study Near a Concentrated Animal Feeding Operation, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 61, 1398-1408.
- Deardorff J. W., 1972a. Numerical Investigation of Neutral and Unstable Planetary Boundary Layers, *J. Atmospheric Sci.*, 29, 91–115.
- Deardorff, J. W., 1972b. Parameterization of the Planetary Boundary Layer for Use in General Circulation Models, *Monthly Weather Rev.*, 100, 93–106.
- Decisione di esecuzione (UE) 2017/302 della Commissione del 15 febbraio 2017, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea del 21/02/2017.
- DEFRA, 2010. Department for Environment, Food and Rural Affairs. Odour Guidance for Local Authorities. DEFRA, London, p. 110.
- Delahunty C.M.; Eyres G.; Dufour J.P., 2006. Gas chromatography-olfactometry, *J. Sep. Sci.*, 29, 2107–2125.
- Delhomenie M.C., Heitz M., 2005. Biofiltration of air: a review, *Crit. Rev. Biotechnol.*, 25, 53-72.
- Department for Environment Food and Rural Affairs – UK, 2010. Odour Guidance for Local Authorities, <https://www.gov.uk/government/publications/odour-guidance-for-local-authorities>.
- Design Guidelines for Sewage Works, ISBN 978-1-4249-8438-1. MOE (2009)

- Dourmad J. Y., Jondreville C., 2007. Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours, *Livest. Sci.* 112, 192-198.
- Environmental Protection Agency Ireland, 2011. BAT Guidance Notes for the Waste Sector: Landfill Activities.
- Estrada J.M., Bart Kraakman N.J.R., Munoz R., Lebrero R., 2011. A Comparative Analysis of Odour Treatment Technologies in Wastewater Treatment Plants, *Environ. Sci. Technol.*, 45, 1100-1106.
- Eusebio L., Dentoni L., Capelli L., Sironi S., Rossi A.N., Bonati S., 2013. Odour impact assessment in the field: the plume method, *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol.12, No. S11, Supplement, 193-196.
- Fortuny M., Gamisans X., Deshusses M.A., Lafuente J., Casas C., Gabriel D., 2011. Operational aspects of the desulfurization process of energy gases mimics in biotrickling filters, *Water Res.* 45, 5665-5674.
- Freeman T., Cudmore R., 2002. Review of Odour Management in New Zealand. Air Quality Technical Report 24. New Zealand Ministry of Environment, Wellington, p. 163.
- Herrington J.S., Z.T.Fan, P.J. L. Lioy, J.J. Zhang, 2007. Low Acetaldehyde Collection Efficiencies for 24-Hour Sampling with 2,4-Dinitrophenylhydrazine (DNPH)-Coated Solid Sorbents, *Environ. Sci. Technol.*, 41, 2, 580-585.
- Institute of Air Quality Management, 2018, Guidance on the assessment of odour for planning, Version 1.1, UK, London, <http://www.iaqm.co.uk/text/guidance/odour-guidance-2014.pdf>
- Integrated Pollution Prevention and Control, 2006. Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatment Industries, European Commission.
- Jafarinejad S., 2016. Odours emission and control in the petroleum refinery: A review, *Current Science Perspectives*, 2(3), 78-82.
- Jiang, Y., Shang, Y., Gong, T., Hu, Z., Yang, K., Shao, S., 2020. High concentration of Mn<sup>2+</sup> has multiple influences on aerobic granular sludge for aniline wastewater treatment. *Chemosphere* 240, 124945.
- JRC Science for Policy Report, 2017. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment, Final Draft, 2017/Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control).
- Kasper P.L., 2017. Effects of Dilution Systems in Olfactometry on the Recovery of Typical Livestock Odorants Determined by PTR-MS, *Sensors*, 17 (8).
- Kennes C., Veiga M.C., 2001. Conventional biofilters. In: Kennes, C., Veiga, M.C.(Eds.), *Bioreactors for Waste Gas Treatment*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 47 - 91.
- Lebrero R., Rodríguez E., García-Encina P.A., Muñoz R., 2011. A comparative assessment of biofiltration and activated sludge diffusion for odour abatement, *Journal of Hazardous Materials*, 190, 622-630.
- Lee J., Lee S., Lin K.A, Jung S., Kwon E.E., 2023. Abatement of odor emissions from wastewater treatment plants using biochar. *Environmental Pollution*, 336, 122426.
- Lewkowska P., Cieślak B., Dymerski T., Konieczka P., Namieśnik J., 2016. Characteristics of odors emitted from municipal wastewater treatment plant and methods for their identification and deodorization techniques, *Environmental Research*, 151, 573-586
- Lin, X. J., Barrington, S., Gong, G., & Choiniere, D., 2009. Simulation of odour dispersion downwind from natural windbreaks using the computational fluid dynamics standard k-ε model. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36(5), 895-910.
- Loyon L., Burton C.H., Misselbrook T., Webb J., Philippe F.X., Aguilar M., Doreau M., Hassouna M., Veldkamp T., Dourmad J.Y., Lucernoni F., Capelli L., Sironi S., 2017. Comparison of different approaches for the estimation of odour emissions from landfill surfaces. *Waste Management*, 63, 345-353.
- Manuale UNICHIM 158: 1988 – Misura alle emissioni. Strategie di campionamento e criteri di valutazione.
- MASE, 2023. Decreto direttoriale di approvazione degli indirizzi per l'applicazione dell'articolo 272-bis del dlgs 152/2006 in materia di emissioni odorigene di impianti e attività elaborato dal "Coordinamento Emissioni". Decreto Direttoriale n. 309 del 28/06/23. Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica. Direzione Generale Valutazioni Ambientali <https://www.mase.gov.it/pagina/indirizzi-lapplicazione-dellarticolo-272-bis-del-dlgs-1522006-materia-di-emissioni-odorigene>
- McGinley C.M., McGinley M.A., 2002. Odor testing biosolids for decision making. In: *Proceedings of the Annual Residuals and Biosolids Management Conference: Privatization, Innovation and Optimization: How to Do More for Less*. Water Environmental Federation, Austin, TX.
- Mudliar S., Giri B., Padoley K., Satpute D., Dixit R., Bhatt P., Pandey R., Juwarkar A., Vaidya A., 2010. Bioreactors for treatment of VOCs and odours – A review, *Journal of Environmental Management*, 91, 1039-1054.

- Nagata Y., 2003. Measurement of odor threshold by triangle odor bag method, Odor measurement review, Tokyo, Japan Office of Odor, Noise and Vibration. Environmental Management Bureau, Ministry of Environment, pp. 118-127.
- Nicell J.A., 2009. Assessment and Regulation of Odour Impacts, Atmospheric Environment, 43, 196-206.
- Nicolas J., Cors M., Romain A.-C., Delva J., 2010. Identification of odour sources in an industrial park from resident diaries statistics, Atmospheric Environment, 44, 1623-1631.
- Pasquarelli F., Oliva G., Mariniello A., Buonerba A., Wang Li C., Belgiorno V., Naddeo V., Zarra T., 2024. Carbon neutrality in wastewater treatment plants: An integrated biotechnological-based solution for nutrients recovery, odour abatement and CO<sub>2</sub> conversion in alternative energy drivers. Chemosphere. 354.
- Rachor I.M., Gebert J., Grongroft A., Pfeiffer E.-M., 2013. Variability of methane emissions from an old landfill over different time-scales. European Journal of Soil Science, 64, 16-26.
- Ranzato L., Barausse A., Mantovani A., Pittarello A., Benzo M., Palmeri L., 2012. A comparison of methods for the assessment of odor impacts on air quality: Field inspection (VDI 3940) and the air dispersion model CALPUFF, Atmospheric Environment, 61, 570-579.
- Rapporto ISTISAN 91/41: 1991 – Criteri generali per il controllo delle emissioni.
- Santonja G.G., Georgitzikis K., Scalet B.M., Montobbio P., Roudier S., Sancho L.D., 2017. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs.
- Schauberger G., Piringer M., Knauder W., Petz E., 2011. Odour emissions from a waste treatment plant using an inverse dispersion technique, Atmospheric Environment, 45, 1639-1647.
- Schauberger G., Piringer M., 2012. Assessment of Separation Distances to Avoid Odour Annoyance: Interaction Between Odour Impact Criteria and Peak-to-Mean Factors. Chemical Engineering Transactions 30, 13-18.
- Schiffman S.S., 1998. Livestock odors: Implications for human health and well-being. J. Anim. Sci., 76, 1343-1355.
- Steven S. S., 1960. The psychophysics of sensory functions, American Scientist, n. 48, pp. 226-253.
- Sucker K., Both R., Bischoff M., Guski R., Winneke G., 2008. Odor frequency and odor annoyance Part II: dose–response associations and their modification by hedonic tone. Int. Arch. Occup. Environ. Health, 81, 683-694.
- Suffet I.H., Burlingame G.F., Rosenfeld P.F., Bruchet A., 2004. The value of an odor-quality-wheel classification scheme for wastewater treatment plants. Water Sci. Technol. 50, 25-32.
- Suffet I.H., Decottignies V., Senante E., Bruchet A., 2009. Sensory assessment and characterization of odor nuisance emissions during the composting of wastewater biosolids. Water Environ. Res. 81, 670-679.
- Suffet I.H., Rosenfeld P., 2007. The anatomy of odour wheels for odours of drinking water, wastewater, compost and the urban environment. Water Sci. Technol. 55, 335-344.
- Takeoka G.R., Buttery R.G., Ling L.C., Wong R.Y., Dao L.T., Edwards R.H., De J. Berrios J. 1998. Odor Thresholds of Various Unsaturated Branched Esters. Lebensm.-Wiss. u.-Technol., 31, 443–448.
- Tang, B., Chen, Q., Bin, L., Huang, S., Zhang, W., Fu, F., Li, P., 2018. Insight into the microbial community and its succession of a coupling anaerobic-aerobic biofilm on semi-suspended bio-carriers. Bioresour. Technol. 247, 591–598.
- U.S. Environmental Protection Agency, EPA A600/R-92/047, 1992. Reference guide to odor threshold for hazardous air pollutants listed in the Clean Air Act Amendments of 1990.
- Ubeda Y., Lopez-Jimenez P.A., Nicolas J., Calvet S., 2013. Strategies to control odours in livestock facilities: a critical review, Spanish Journal of Agricultural Research, 11(4): 1004-1015.
- UK Environment Agency, 2011. H4 Odour Management - How to comply with your environmental permit, Bristol. <https://www.gov.uk/government/publications/environmental-permitting-h4-odour-management>.
- UNI 10964: 2001 - Guida alla selezione dei modelli matematici per la previsione di impatto sulla qualità dell'aria.
- UNI 11761: 2023 - Emissioni e qualità dell'aria - Misurazione strumentale degli odori tramite IOMS (Instrumental Odour Monitoring Systems).
- UNI 11806:2021. Qualità dell'aria – emissioni odorigene e impatto olfattivo – Vocabolario.
- UNI EN 13725:2022 Emissioni da sorgente fissa - Determinazione della concentrazione di odore mediante olfattometria dinamica e della portata di odore.
- UNI EN 15259: 2008 - Misurazione di emissioni da sorgente fissa. Requisiti delle sezioni e dei siti di misurazione e dell'obiettivo, del piano e del rapporto di misurazione.

- UNI EN 16841 – 1:2017, Aria Ambiente – Determinazione dell'odore in aria ambiente mediante indagine in campo - Parte 1: Metodo a griglia.
- UNI EN 16841 – 2:2017, Aria Ambiente – Determinazione dell'odore in aria ambiente mediante indagine in campo - Parte 1: Metodo del pennacchio.
- UNI EN ISO 16911-1: 2013 - Misurazione di emissioni da sorgente fissa. Determinazione manuale ed automatica della velocità e della portata di flussi in condotti.
- Van Elst T., Delva J., 2016. The European Standard prEN 16841-2 (Determination of Odour in Ambient Air by Using Field Inspection: Plume Method): a Review of 20 Years Experience With the Method in Belgium, *Chemical Engineering Transactions*, vol. 54, 175-180.
- Van Gemert L.J. 2011. Odour threshold. *Compilation of odour threshold values in air, eater and other media*". Ed. Oliemans Punter & Partners BV, the Netherlands.
- Van Harreveld A.P., 2001. From Odorant Formation to Odour Nuisance: New Definitions for Discussing a Complex Process, *Water Science and Technology*, Vol.44, No.9, pp9-15.
- VDI 3882 Part 1: Olfactometry - Determination of odour intensity, 2021.
- VDI 3940 Part 1 – 2 – 2006: Measurement of odour impact by field inspection - Measurement of the impact frequency of recognizable odours, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Wang L., Yang C.P., Cheng Y., Huang J., Yang H.L., Zeng G.M., Lu L., He S.Y., 2014. Enhanced removal of ethylbenzene from gas streams in biofiltrickling filters by Tween-20 and Zn(II), *J. Environ. Sci.*, 26, 2500-2507.
- Watts P.J., Sweeten J.M., 1995. Toward a better regulatory model for odour. In: *Proceedings of the Xth Feedlot Association of Australia Conference. Feedlot Waste Management Conference*, Benowa, QLD.
- Waweru M., Herrygers V., van Langenhove H., Verstraete W., 2006. Process engineering of biological waste gas purification. In: *Jordening, H.-J., Winter, J. (Eds.), Environmental Biotechnology: Concepts and Applications*. Wiley-VCh, pp. 409-426.
- Wu C., Liu J., Yan L., Chen H., Shao H., Meng T., 2015. Assessment of odor activity value coefficient and odor contribution based on binary interaction effects in waste disposal plant, *Atmos. Environ.*, 103, 231-237.
- Wu C., Liu J., Zhao P., Piringer M., Schauburger G., 2016. Conversion of the chemical concentration of odorous mixtures into odour concentration and odour intensity: A comparison of methods, *Atmospheric Environment*, 127, 283-292.
- Xiang, H., Lu, X., Yin, L., Yang, F., Zhu, G., Liu, W., 2013. Microbial community characterization, activity analysis and purifying efficiency in a biofilter process. *J. Environ. Sci. (China)* 25, 677-687.



PT SNPA  
2025