

GESTIONE E TRATTAMENTO DEGLI ODORI IN REGIONE LOMBARDIA: INDAGINE SU 35 IMPIANTI DI DEPURAZIONE DELLE ACQUE REFLUE

Cristiana Morosini^{1*}, Maurizio Favaron², Davide Cogo³, Domiziano I. Basilico⁴

¹ Università degli Studi dell'Insubria, Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia, Varese.

² Servizi Territorio srl, Cinisello Balsamo (MI).

³ Università degli Studi di Milano-Bicocca, Milano.

⁴ SEAM engineering S.r.l., Parco Scientifico Tecnologico COMONExT, Lomazzo (CO).

Sommario – Le emissioni odorigene generate dagli impianti di depurazione delle acque reflue rappresentano un problema di grande attualità, che i gestori si trovano a dover affrontare senza il supporto di una normativa nazionale che disciplini in materia. A colmare, in parte, questo vuoto, sono venute in soccorso le linee guida di Regione Lombardia e, proprio a 35 impianti ricadenti in quattro aree geografiche del territorio lombardo e appartenenti a diverse classi di potenzialità, si è rivolta l'attenzione degli autori. Attraverso un questionario, infatti, sono state raccolte informazioni sui più diffusi accorgimenti gestionali ed impiantistici messi in atto per ovviare a tale problematica. Per ciascuna sezione, sono state riportate le misure intraprese ed i risultati conseguiti: ne è emerso come le unità maggiormente impattanti siano i pre-trattamenti e la disidratazione e come la tecnologia più diffusamente implementata sia lo scrubber pluristadio, generalmente scelto per un rapporto economicità/prestazioni ritenuto vantaggioso. Al fine, inoltre, di correlare le segnalazioni dei gestori (in merito alla stagionalità ed al momento di occorrenza, durante il giorno, degli episodi di odore) ai parametri associati alla meteo-diffusività dell'atmosfera, è stata effettuata una simulazione modellistica, mediante CALPUFF, utilizzando i dati della stazione meteorologica di Arconate: è risultato che, mentre l'alternanza giorno-notte rappresenta un elemento di fondamentale importanza nella dinamica delle concentrazioni di sostanze odorigene, la stagionalità, invece, non sembra incidere in maniera rilevante sulla stessa. Scopo del presente lavoro è quello di fornire al legislatore uno strumento a sostegno dell'emanazione di specifiche linee guida (basato sullo stato dell'arte esistente in buona parte del territorio lombardo), che possano supportare i gestori nel difficile processo decisionale che deve portare ad una corretta e sostenibile gestione del "problema odori".

Parole chiave: emissioni odorigene, modelli di dispersione, turbolenza atmosferica, azioni mitigative, tecnologie di abbattimento.

MANAGEMENT AND TREATMENT OF ODOUR NUISANCE IN LOMBARDY REGION: SURVEY OF 35 WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Abstract – The odour emissions, generated by wastewater treatment plants, represent a current issue of great concern among the managers of the plants who

must face this problem without any help by national regulation. The Lombardy Region guidelines partially fill in this gap in the law and the authors' attention is focused on 35 plants of various potentiality belonging to four different areas of this Region. Through a checklist, information about the most widespread management and technological measures used to solve this problem has been collected. For each section of the plant, the carried out actions and the obtained results have been reported: the units, which are most affected by odour nuisance, are pre-treatments and dewatering, while the most used technology is multistage scrubber, often chosen because considered as very interesting from the point of view of cheapness/performance ratio. In order to find a relationship between managers' warning (about seasonal and daily occurrence of odour events) and the parameters associated with atmospheric diffusivity, a model simulation has been done by using CALPUFF and the data of Arconate weather station: while the day-night cycle represents an element of great importance to explain the odour concentrations dynamics, seasonality, on the contrary, seems to be quite negligible. The present work aims at providing the lawmaker with a picture of the state of the art of odour problem in a large part of the Lombardy Region, in order to help him to adopt a new law which could guide the managers towards successful and aware decisions to properly manage the "odour problem".

Keywords: odour emissions, dispersion models, atmospheric turbulence, coverage actions, removal technologies.

Ricevuto il 23-07-2015; Correzioni richieste il 19-11-2015; Accettazione finale il 16-12-2015.

1. INTRODUZIONE

La crescente sensibilità dell'opinione pubblica verso le problematiche ambientali e la ricerca di strategie finalizzate al contenimento degli effetti di talune attività nei confronti della salute umana hanno portato, negli ultimi anni, ad un'attenzione sempre maggiore nei confronti delle cosiddette "emissioni odorigene" generate da impianti destinati al trattamento delle acque reflue urbane.

I sistemi adottati per arginare tale problema sono svariati e spesso applicati in modo del tutto "istintivo" da parte dei gestori, che si vedono costretti, di fronte alle lamentele della popolazione residente nel-

* Per contatti: Via G.B. Vico 46, 21100 Varese.
Tel. 0332.218785, e-mail: cristiana.morosini@uninsubria.it.

le immediate vicinanze dei loro impianti, a trovare soluzioni “tamponate” senza conoscere la vera causa della molestia olfattiva. Il “vuoto normativo”, a livello nazionale, certamente non aiuta ad indirizzare verso scelte ponderate e realmente consapevoli. Sulla base di queste considerazioni e nell’ottica di definire quale fosse lo “stato dell’arte” in merito alle soluzioni impiantistiche e gestionali maggiormente implementate, per far fronte alla “questione odorigena”, in buona parte del territorio di Regione Lombardia, è stato analizzato, nel periodo luglio 2013-febbraio 2014, un campione di 33 impianti ricadenti nelle aree geografiche di Varese, Como, Lecco, Monza-Brianza e Milano (zona nord). Successivamente, tale attività è proseguita con l’intento di monitorare non solo la realtà precedentemente investigata (allo scopo di ottenere un quadro il più possibile aggiornato degli obiettivi conseguiti), ma di allargare l’analisi ad un campione più ampio di impianti, comprendente la quasi totalità dell’area metropolitana milanese. L’auspicio degli autori è che questo screening (i cui risultati sono riportati e discussi nel presente lavoro), seppur parziale, possa fornire al legislatore uno strumento a sostegno dell’emanazione di specifiche linee guida, basate sulla conoscenza dell’attuale realtà impiantistica lombarda e in grado di supportare i gestori nel difficile processo decisionale che deve portare ad una corretta e sostenibile gestione del “problema odori”.

1.1. Inquadramento normativo

La normativa italiana non prevede valori limite di emissione di odore o di disagio olfattivo (fatta eccezione per il D.M. 29/01/2007 – Linee guida MTD, o BAT, per gli impianti di trattamento meccanico-biologico) e rimanda, pertanto, a disposizioni specifiche in materia emanate dalle diverse Regioni (il D.Lgs. 152/06 non prevede, infatti, alcuna disposizione in merito all’impatto olfattivo ma, all’art. 178, riporta solo che il trattamento dei rifiuti deve avvenire «senza causare inconvenienti da odori»). A titolo esemplificativo, in Tabella 1 si riportano (in ordine cronologico di emanazione) alcune di queste disposizioni regionali.

Regione Lombardia, in particolare, con D.G.R. 15/2/2012 – n. IX/3018 (Allegato A), ha emanato le linee guida per la caratterizzazione e l’autorizzazione delle emissioni gassose in atmosfera delle attività ad impatto odorigeno, aventi lo scopo di creare un regolamento trasversale applicabile a tutte le attività, ma da cui possano poi scaturire anche linee guida settoriali (allevamenti, rendering, impianti di depurazione-trattamento fanghi, ecc.). Le suddette linee guida si applicano a tutte le attività che, durante il loro esercizio, danno luogo ad emissioni odorigene e che sono soggette ad autorizzazione integrata ambientale o ad autorizzazione alla gestione dei rifiuti, nonché a valutazione di im-

Tabella 1 – Provvedimenti regionali in materia di molestie olfattive

Regione	Provvedimento	Principali disposizioni
Basilicata	D.G.R. n. 709 del 22/4/2002: Linee guida per la progettazione, costruzione e gestione degli impianti di compostaggio e biostabilizzazione	Limite alle emissioni odorigene: 300 OU _E m ⁻³
Lombardia	D.G.R. n. 7/12764 del 16/4/2003: Linee guida relative alla costruzione e all’esercizio degli impianti di produzione di compost	Limite alle emissioni odorigene: 300 OU _E m ⁻³
Abruzzo	D.G.R. n. 400 del 26/5/2004: Direttive regionali concernenti le caratteristiche prestazionali e gestionali richieste per gli impianti di trattamento dei rifiuti urbani	Limite alle emissioni odorigene: 300 OU _E m ⁻³
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	Limite alle emissioni odorigene: 400 OU _E m ⁻³ (misurate con olfattometria dinamica, secondo norma UNI EN 13725/2004)
Lombardia	D.G.R. n. IX/3018 del 15/2/2012: Determinazioni generali in merito alla caratterizzazione delle emissioni gassose derivanti da attività a forte impatto odorigeno	Linee guida per la caratterizzazione e l’autorizzazione delle emissioni gassose in atmosfera delle attività ad impatto odorigeno (Allegato A, a sua volta costituito dai sub-allegati 1, 2, 3 e 4) e linea guida di settore: Emissioni odorigene in atmosfera da impianti di depurazione reflui
Lombardia	D.G.R. n. IX/3552 del 30/5/2012: Caratteristiche tecniche minime degli impianti di abbattimento per la riduzione dell’inquinamento atmosferico derivante dagli impianti produttivi e di pubblica utilità, soggetti alle procedure autorizzative di cui al D.Lgs. 152/06 e s.m.i. – Modifica e aggiornamento della D.G.R. 1 agosto 2003 – n. 7/13943	Requisiti minimi degli impianti di abbattimento a presidio delle emissioni in atmosfera in funzione del ciclo produttivo da cui sono generate

patto ambientale o a verifica di assoggettabilità. Nel caso di impianti nuovi, scopo delle linee guida è quello di valutare, già in fase di progettazione, l'impatto odorigeno prodotto dall'attività nel contesto in cui è inserita; nel caso, invece, di impianti esistenti, scopo delle linee guida è quello di individuare la procedura e la strategia da attuare in caso di conclamate problematiche olfattive che interessino il territorio. Tale procedura si articola in quattro fasi, che prevedono la valutazione, effettuata da tecnici, di questionari compilati dai residenti (fase A), la caratterizzazione delle emissioni odorigene e la simulazione del loro impatto sul territorio (fase B, attivata solo qualora gli episodi/mese segnalati superino, per durata, il 5% del numero di ore monitorate), lo studio e la messa in opera di interventi impiantistico/gestionali (fase C) e la verifica in campo degli effetti positivi degli interventi realizzati e della conseguente cessazione del disturbo (fase D).

Ad oggi, per quanto attiene alle emissioni odorigene provocate dalla linea fanghi degli impianti di depurazione, Regione Lombardia non ha ancora rilasciato autorizzazioni con prescrizioni, fatta eccezione per alcuni casi isolati in cui è stato richiesto, ai gestori, il rispetto di quanto previsto dalla normativa sul compostaggio.

1.2. Caratterizzazione delle emissioni odorigene

L'odore può essere definito come «qualunque emanazione percepibile attraverso il senso dell'olfatto» e come «una risposta soggettiva ad una stimolazione delle cellule olfattive, presenti nella sede del naso, da parte di molecole gassose» (APAT, 2003).

L'impatto odorigeno viene generalmente misurato a partire dai dati di concentrazione di odore (C_{od}), espressi in unità odorimetriche od olfattometriche al metro cubo ($OU_E m^{-3}$), che rappresentano il numero di diluizioni necessarie affinché il 50% degli esaminatori non avverta più l'odore del campione analizzato (Allegato A alla D.G.R. 15/2/2012 – n. IX/3018). La norma di riferimento per la determinazione della concentrazione di odore è la UNI EN 13725:2004 (in via di revisione), la quale prevede che il campione di aria venga sottoposto ad analisi mediante olfattometria dinamica, in modalità scelta binaria forzata e panel di sei rinoanalisti, utilizzando un campionatore passivo e sacchetti in Nalophan™ del volume di 8 litri. Obiettivo principale della norma UNI è quello di fornire una base comune di valutazione oggettiva delle emissioni di odori in tutti i Paesi dell'Unione Europea.

1.3. Modellazione della dispersione degli odori

Si supponga un punto dello spazio (recettore) nel quale sia stata segnalata la presenza di sostanze odorose di provenienza non locale. L'arrivo di tali sostanze al recettore ha, necessariamente, fatto seguito alla loro "emissione" da parte di una o più "sorgenti" ed al loro successivo trasporto da parte del vento. Il moto dell'atmosfera, a ridosso del suolo, avviene pressoché sempre in regime turbolento, che agisce sulle sostanze odorose diluendole per rimescolamento con l'aria circostante. Tale meccanismo differisce a seconda che la turbolenza abbia origine puramente meccanica (cosa che accade nelle ore stabili, tipicamente notturne, durante le quali il mancato apporto di energia solare comporta il raffreddamento del suolo e dell'aria al suo contatto) oppure meccanica e termica (come, invece, avviene nelle ore convettive, nelle quali l'apporto di energia da parte del Sole comporta il riscaldamento del suolo e l'innescò di strutture di convezione). L'effetto combinato del trasporto a distanza, da parte del vento medio, e della diffusione turbolenta è chiamato "dispersione".

La dispersione degli odori si può interpretare alla stregua di una funzione di trasferimento che, ad un dato insieme di emissioni (massa di un tracciante odoroso per unità di tempo), associa una distribuzione spaziale di concentrazione (massa di un tracciante odoroso per unità di volume). È la concentrazione di sostanze odorose che, riconosciuta dall'olfatto, induce la sensazione di odore.

In questa interpretazione, il campo tridimensionale di vento e turbolenza agisce come agente di accoppiamento tra emissione e concentrazione.

In teoria, se si conoscesse, istante per istante, il campo di vento e di turbolenza nei suoi più minuti dettagli alla scala molecolare, si potrebbe calcolare esattamente la concentrazione al recettore. Ma, dal momento che ciò risulta impossibile, ci si deve necessariamente ridurre a trattare il problema in modo semplificato.

Il metodo correntemente impiegato è costituito dai modelli di dispersione, procedure di calcolo che approssimano, in base a criteri basati sulla conoscenza della fisica dell'atmosfera, i fenomeni di trasporto e diffusione.

Tra i vari tipi di modelli di dispersione in uso nel caso degli odori, quelli oggi più diffusi sono i lagrangiani, nei quali le emissioni sono simulate tramite il rilascio di un numero elevato di pacchetti discreti, le cui masse, sommate, coincidono con la massa complessiva di sostanza odorosa rilasciata.

Le concentrazioni sono quindi calcolate valutando il contributo di ciascun pacchetto in corrispondenza dei vari recettori.

Tra i modelli lagrangiani, quelli ad oggi maggiormente applicati nel caso degli odori sono i cosiddetti modelli *puff* (e.g. CALPUFF, usato anche nel presente lavoro, come descritto nel Paragrafo 2.2), in cui i pacchetti sono costituiti da distribuzioni gaussiane, che crescono di diametro e diminuiscono in concentrazione e massa al trascorrere del tempo; il moto di questi *puff* rappresenta l'effetto di trasporto a distanza dovuto al vento medio, mentre il loro allargamento e la loro diluizione rappresentano la diffusione dovuta alla turbolenza.

Sviluppati originariamente per applicazioni nel campo della qualità dell'aria, i modelli di dispersione esistenti sono ottimizzati per la stima degli effetti sanitari a medio e lungo termine (per esempio, su scala annuale), come quelli dovuti agli inquinanti atmosferici.

Nel caso delle sostanze odorose, gli effetti occorrono istantaneamente, quindi non interessano tanto i valori medi orari restituiti dai modelli, quanto i valori di picco riscontrabili nell'arco dell'ora. Dal momento che questi ultimi non sono calcolati direttamente dai modelli di dispersione, occorre stimarli. Il metodo al momento più utilizzato (e descritto nell'Allegato 1 alla D.G.R. n. IX/3018 del 15/2/2012 della Regione Lombardia) si compendia nella relazione:

$$c_p = 2.3 c \quad (1)$$

dove c rappresenta la concentrazione media oraria, riportata dal modello in corrispondenza di ciascun

recettore, mentre con c_p viene indicata la stima della concentrazione di picco.

In Figura 1, si riporta lo schema concettuale della catena modellistica usata nel presente lavoro: i rettangoli bianchi rappresentano parti del modello di dispersione, mentre gli altri rappresentano procedure esterne realizzate ad hoc.

1.4. *Trattamento degli odori negli impianti di depurazione*

Le principali criticità, in un impianto di depurazione convenzionale a fanghi attivi (tipologia maggiormente diffusa in Italia), sono per lo più ascrivibili alle fasi iniziali di arrivo del refluo, ai pretrattamenti di grigliatura e di dissabbiatura/dissolvenza ed alla sedimentazione primaria, nonché alla linea fanghi, in quanto spesso caratterizzata dalla presenza di lunghi tempi di permanenza di materiale organico ancora putrescibile. Gli interventi per la minimizzazione degli odori possono comprendere la diluizione/dispersione, la riduzione/prevenzione, il contenimento e la captazione, il mascheramento e, infine, il trattamento. Quest'ultimo, in particolare, consiste nella messa in opera di tecniche chimico-fisiche (e.g. scrubber e filtri a carboni attivi) o biologiche (e.g. biofiltri) in grado di rimuovere e/o degradare i composti maleodoranti. In Tabella 2 è riportato un quadro sinottico dei sistemi di abbattimento degli odori maggiormente implementati negli impianti di depurazione delle acque reflue. Gli scrubber, mono o pluristadio, sono in grado di adsorbire, ossidare o salificare le molecole odorogene attraverso il lavaggio con so-

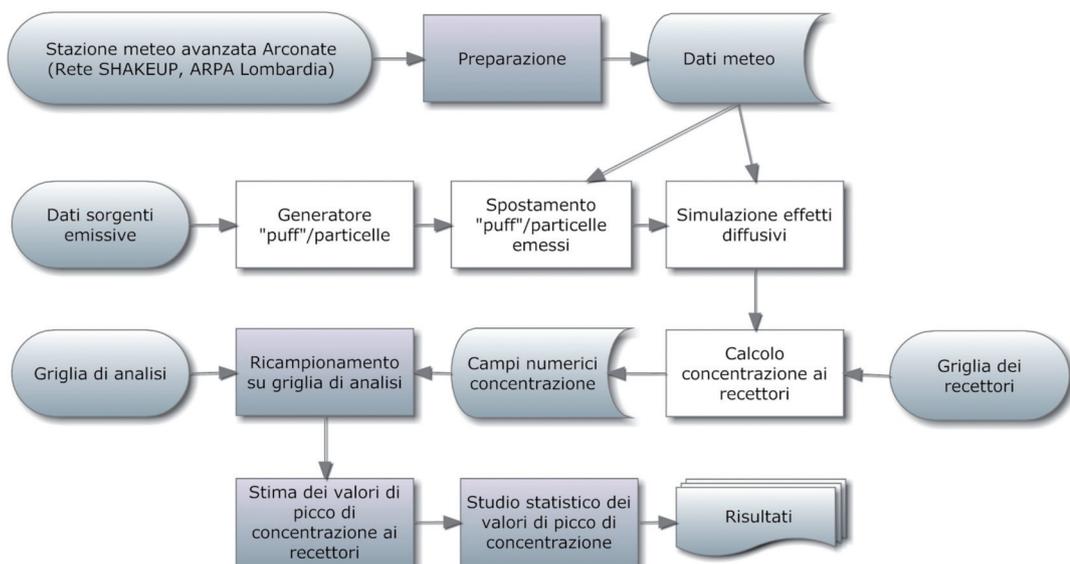


Figura 1 – Schema concettuale della catena modellistica

luzioni alcaline-acide e/o ossidanti. Lo scrubber a secco, altrimenti noto come adsorbimento chimico, è un processo di purificazione dell'aria, che viene realizzato attraverso il passaggio in un letto filtrante composto da materiale adsorbente chimicamente attivato in funzione della natura degli odori da abbattere. L'adsorbimento a carboni attivi è un processo fisico governato da un fenomeno di trasporto di massa, in cui uno o più componenti (adsorbati) passano da una fase fluida ad una fase solida, rappresentata, in genere, da una sostanza adsorbente caratterizzata da elevata superficie specifica, quale il carbone attivo. Il biofiltro, invece, consiste in un sistema biologico confinato, generalmente rappresentato da una fase solida, mantenuta ad un opportuno grado di umidità, colonizzata da microrganismi in grado di metabolizzare sostanze organiche ed inorganiche volatili. In Tabella 2 vengono poste a confronto le principali voci da valutare nella scelta del trattamento e la loro conformità o meno con quanto previsto dalla già citata D.G.R. n. IX/3552 del 30/5/2012 e dalle linee guida sulle emissioni odorogene in atmosfera da impianti di depurazione reflui, emanate da Regione Lombardia e nel seguito indicate come "linee guida di settore".

2. MATERIALI E METODI

2.1. Definizione del campione

Il campione, oggetto della presente indagine, era originariamente (2013-2014) costituito da 33 dei 76 impianti ricadenti nelle aree geografiche di Varese, Como, Lecco, Monza-Brianza e Milano (zona nord). Ai risultati di questa indagine, ha fatto seguito un ulteriore monitoraggio (aprile-maggio 2015), che ha visto coinvolti, oltre ai principali impianti del 2013, anche due nuovi impianti precedentemente esclusi dal campione, andando così a comprendere la quasi totalità dell'area metropolitana milanese. Tale indagine aggiuntiva ha permesso di raccogliere nuove informazioni (o di aggiornare le precedenti) in merito allo stato dell'arte della problematica odori in buona parte di Regione Lombardia. Gli impianti sono stati suddivisi, in funzione della loro potenzialità (espressa come numero di abitanti equivalenti A.E. da progetto), in tre classi di appartenenza (riportate in Tabella 3), anche sulla base di quanto indicato nel Regolamento Regionale 24 marzo 2006, N. 3: classe 1 ($\geq 2000 \div < 10000$ A.E.), classe 2 ($\geq 10000 \div < 50000$ A.E.) e classe 3 (≥ 50000 A.E.).

Tabella 2 – Quadro sinottico dei principali sistemi per l'abbattimento degli odori negli impianti di depurazione

TIPOLOGIA	Costo di investimento	Costo di gestione	Ingombro	Efficienza/affidabilità	Conformità alla D.G.R. n. IX/3552 del 30/5/2012 ed alle linee guida di settore
Scrubber monostadio	Basso	Basso	Medio	Media	NO
Scrubber bistadio	Medio	Medio	Medio	Alta	SÌ
Scrubber e biofiltro	Medio	Medio	Alto	Alta	SÌ
Biofiltro	Basso	Basso	Alto	Bassa	Da valutare*
Scrubber a secco (adsorbimento chimico)	Alto	Alto	Medio	Alta	Da valutare*
Adsorbimento a carboni attivi	Basso	Alto	Medio-Basso	Alta	Da valutare*

* Regione Lombardia sconsiglia questi trattamenti da soli oppure, come nel caso dell'adsorbimento chimico, non viene esplicitamente contemplato nelle linee guida.

Tabella 3 – Impianti esistenti e impianti monitorati appartenenti alle quattro aree geografiche costituenti il campione investigato, suddivisi per classi di potenzialità (A.E. da progetto)

AREA GEOGRAFICA	Classe 1: $\geq 2000 \div < 10000$ A.E.		Classe 2: $\geq 10000 \div < 50000$ A.E.		Classe 3: ≥ 50000 A.E.		TOTALE	
	Impianti esistenti	Impianti monitorati	Impianti esistenti	Impianti monitorati	Impianti esistenti	Impianti monitorati	Impianti esistenti	Impianti monitorati
Varese	18	6	13	1	7	6	38	13
Como e Lecco	8	2	8	4	6	6	22	12
Monza-Brianza	0	0	0	0	3	2	3	2
Area metropolitana Milano	0	0	1	1	12	7	13	8
TOTALE	26	8	22	6	28	21	76	35

Dei 76 impianti totali esistenti nell'area geografica di interesse, sono stati scelti e monitorati i 35 più rappresentativi in termini di attenzione e sensibilità verso la problematica odori, caratteristiche che si sono tradotte nella disponibilità a fornire informazioni in merito agli accorgimenti gestionali ed impiantistici messi in atto per ovviare alla stessa.

2.1.1. Checklist

La raccolta delle informazioni, nel 2013-2014, è avvenuta attraverso un questionario, *checklist*, che è stato sottoposto ai vari gestori e di cui si riporta uno stralcio in Tabella 4.

Nel 2015, è stato proposto ai gestori un nuovo questionario dove, in aggiunta a quanto riportato in Tabella 4, è stato chiesto di indicare anche la frequenza mensile degli episodi di emissioni odorogene, la stagione e la fascia oraria di occorrenza, il processo decisionale che ha portato alla scelta di un certo tipo di trattamento, i risultati conseguiti mediante l'applicazione dello stesso e gli strumenti attraverso cui tali risultati sono stati valutati (campagne analitiche, riscontro positivo da parte della popolazione limitrofa, ecc.). La raccolta di informazioni riguardanti la periodicità degli episodi di emissioni odorigene moleste, unitamente a quelle relative alla morfologia del territorio circostante ed al grado di antropizzazione, hanno permesso, in particolare, di applicare il modello di dispersione CALPUFF per determinare il legame tra circolazione e turbolenza dell'atmosfera e concentrazioni al suolo, come illustrato nel Paragrafo 2.2.

2.2. Modellazione delle concentrazioni al suolo

Nel presente lavoro, il modello di dispersione CALPUFF è utilizzato nella sua accezione di funzione di trasferimento tra un'emissione nominale costante ed i valori di picco di concentrazione determinati in corrispondenza di una famiglia di recettori (disposti ai nodi di tre griglie circolari concentriche centrate sul punto di emissione). I risultati, opportunamente aggregati, sono studiati statisticamente per caratterizzare la connessione tra circolazione e turbolenza dell'atmosfera e concentrazioni al suolo, al fine di aiutare ad interpretare i dati raccolti dai gestori degli impianti di depurazione, con particolare attenzione alle dinamiche degli eventi odorosi. Scopo ultimo della simulazione modellistica è, infatti, correlare le segnalazioni dei gestori (in merito alla stagionalità ed al momento di occorrenza, durante il giorno, degli episodi di odore) ai parametri associati alla meteodiffusività dell'atmosfera (Jacobson,

Tabella 4 – Stralcio di checklist sottoposta ai gestori nel 2013-2014

CHECKLIST INDAGINE ODORI	
Dati dell'impianto	
Domanda	Risposta
Nome referente impianto	
Gestore impianto	
Località	
Tessuto urbano circostante (residenziale, industriale, rurale)	
Morfologia del territorio	
Dati meteorologici (direzione e intensità del vento)	
Abitanti equivalenti (da progetto)	
Tipo di refluo trattato (civile, industriale o misto e in che %)	
Principali parametri di esercizio	
Domanda	Risposta
Carico del fango	
Età del fango	
MLSSV	
OD	
Temperatura	
Sezioni dell'impianto	
Domanda	Risposta
Lunghezza collettori	
Tipo di arrivo in impianto (sommerso, a canaletta, ecc.)	
Pre-trattamenti (quali)	
Sedimentazione primaria	
Trattamento biologico (di che tipo)	
Sedimentazione secondaria	
Disinfezione	
Trattamenti terziari (quali)	
Pre-ispessimento (di che tipo)	
Stabilizzazione (di che tipo)	
Post-ispessimento (di che tipo)	
Disidratazione meccanica (di che tipo)	
Essiccamento	
Sistemi di monitoraggio/captazione/abbattimento odori	
Domanda	Risposta
Frequenza eventi e periodo in cui si verificano	
Sezioni coperte	
Sezioni coperte e trattate	
Tipi di trattamento adottati (scrubber, biofiltri, C.A., ecc.)	
Sezioni scoperte trattate (barriere osmogene, altro)	

2002, 2005), in particolare velocità e direzione di provenienza del vento, intensità della turbolenza (Sozzi et al., 2002) e spessore dello strato rimescolato, ovvero di quello strato di atmosfera, a contatto con il suolo, direttamente interessato dalla turbolenza, e quindi scenario di intensi fenomeni di rimescolamento, nel quale le sostanze emesse in prossimità del suolo tendono a restare confinate (Arya, 2001; Sozzi et al., 2002).

Lo studio modellistico è stato realizzato utilizzando i dati della stazione meteorologica di Arconate, nel nord-ovest della Provincia di Milano e appartenente alla rete SHAKEUP di ARPA Lombardia, collocata circa al centro dell'area sulla quale insistono gli impianti monitorati e dotata di anemometro ultrasonico triassiale. Tale strumento permette la misura diretta della turbolenza, oltre che la misura di precisione del vento medio anche nelle condizioni di "calma" molto comuni in Pianura Padana: grazie a ciò, è possibile evitare gli artefatti di stima indotti dai processori meteorologici applicati a misure di tipo convenzionale (Sozzi e Fraternali, 1994).

Le concentrazioni al suolo sono determinate ipotizzando un'emissione costante, pari a 1000 unità di odore/secondo, generata da una sorgente virtuale di tipo puntuale, avente diametro pari a 1 m e posta ad un'altezza di 5 m nel punto di coordinate (0,0). La temperatura iniziale dei fumi è assunta costante e pari a 288,15 K e la loro velocità di uscita dal camino è posta pari a 0 m s⁻¹.

Il dominio di calcolo, in linea con le indicazioni riportate nella già citata D.G.R. n. IX/3018 del 15/2/2012 della Regione Lombardia, è costituito da un'area quadrata con i lati paralleli agli assi est e nord, di lunghezza pari a 6 km, con estremi SW e NE, rispettivamente pari a (-3 km, -3 km) e (+3 km, +3 km), assumendo come punto di emissione quello di coordinate (0, 0).

L'insieme dei recettori è formato da due sottoinsiemi. Il primo è costituito da una griglia equispaziata, orientata lungo gli assi est e nord, con estremi SW e NE coincidenti con quelli del dominio di calcolo e con distanza, tra recettori contigui lungo gli assi est e nord, pari a 50 m. Il secondo è costituito da quattro livelli concentrici: il livello 1 è rappresentato da un unico punto in posizione (0,0); i livelli 2, 3 e 4 sono costituiti ciascuno da 32 recettori, posizionati in corrispondenza dei punti di coordinate:

$$P_{il} = (r_l \sin(22,5^\circ \cdot i), r_l \cos(22,5^\circ \cdot i)) \quad (2)$$

dove $i = 0, 1, \dots, 31$ designa il settore di provenienza del vento, mentre $l = 2, 3, 4$. I valori di r_l so-

no rispettivamente pari a 0,1 km (punti vicini), 0,5 km (punti a media distanza) e 1,5 km (punti lontani). I valori di concentrazione sono prodotti sul primo sottoinsieme usando il modello CALPUFF, alimentato da un file meteorologico ottenuto elaborando (su base semi-oraria, tramite la libreria *open source* SonicLib, 2012) in modo diretto i dati della stazione SHAKEUP di Arconate nel periodo 17/9/2012-22/4/2015. I campi semi-orari, ottenuti sulla griglia quadrata del primo sottoinsieme, sono quindi interpolati sulla seconda griglia, utilizzando il metodo di Cressman (Cressman, 1959) con raggio di influenza pari al prodotto della spaziatura della griglia regolare per la radice quadrata di 2. I risultati della simulazione modellistica sono stati comparati con le risposte date dai gestori ai questionari. Questi sono stati analizzati selezionando gli impianti in cui sono state riportate segnalazioni di eventi odorosi: per ciascuno di essi, è stato conteggiato il numero di casi di occorrenza, che sono poi stati classificati in funzione del periodo del giorno (ore stabili, i.e. mattina, sera, notte e ore convettive, i.e. metà giornata, pomeriggio) o della stagione; in caso di risposta multipla ad ognuna delle categorie sopra indicate, è stato assegnato il valore $1/n$, dove n rappresenta il numero di casi possibili (2 nel caso stabile/convettivo, 4 nel caso stagionale).

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1. Simulazioni modellistiche

In Figura 2, sono rappresentati i giorni tipo, relativi ai massimi di griglia delle concentrazioni odorose, modellati per i mesi di febbraio e luglio 2014. Entrambi gli andamenti dei giorni tipo mostrano una marcata dinamica delle concentrazioni, che presentano i loro valori massimi in corrisponden-

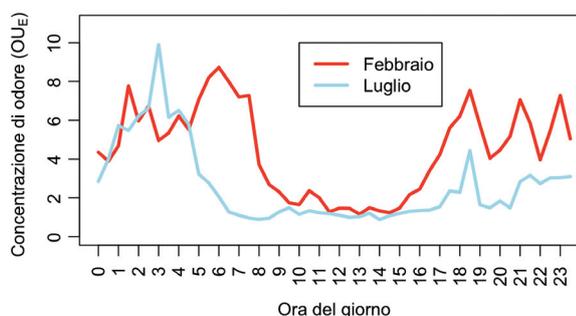


Figura 2 – Giorni tipo delle concentrazioni odorose ricostruiti sulla base dei dati modellati per i mesi di febbraio e luglio 2014

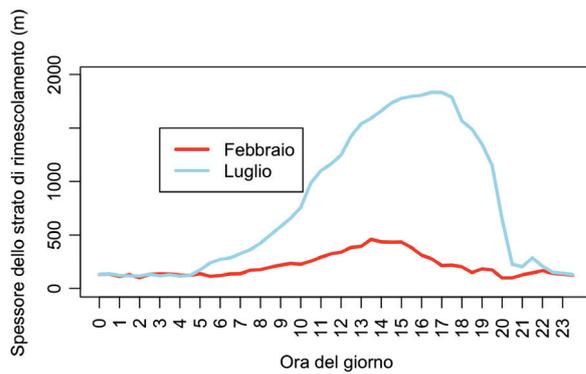


Figura 3 – Andamento dello spessore dello strato rimescolato in corrispondenza dei giorni tipo modellati nei mesi di febbraio e luglio 2014

za delle ore notturne e crepuscolari, in assenza di insolazione. Le ore centrali della giornata, caratterizzate dall'apporto di energia solare, sono invece contraddistinte da valori di concentrazione decisamente più bassi. Tale dinamica è quasi interamente attribuibile allo spessore dello strato rimescolato (Sozzi et al., 2002), il cui andamento, in corrispondenza dei giorni tipo modellati nei mesi sopra riportati (relativamente alla stazione di Arconate), è presentato in Figura 3.

L'esame delle Figure 2 e 3 suggerisce una forte dipendenza dei valori modellati di concentrazione dall'altezza dello strato di rimescolamento. Un secondo fattore, in grado di influire sulla concentrazione modellata, è la velocità del vento: tanto più grande è il valore di quest'ultima e tanto più lontano sono trasportate le molecole odorigene, con conseguente loro maggior diluizione. Il fenomeno è apprezzabile per velocità del vento maggiori o uguali a $4,5 \text{ m s}^{-1}$, valore in corrispondenza del quale le strutture coerenti di origine termica, tipiche della turbolenza atmosferica diurna, sono distrutte dall'intenso rimescolamento che ha luogo presso la superficie del suolo (Oke, 1988). Nel caso della stazione di Arconate, però, la percentuale di dati di vento, superiori a $4,5 \text{ m s}^{-1}$, è pari a 3,1% per l'intero periodo osservato: è, dunque, legittimo aspettarsi che la velocità del vento abbia, in questo caso, un ruolo di importanza secondaria nella determinazione delle concentrazioni. La Figura 3 mostra, inoltre, che lo spessore dello strato limite atmosferico (Arya, 2001; Sozzi et al., 2002) è decisamente più basso durante le ore diurne dei mesi più freddi, essendo sensibilmente inferiore, in tale periodo, l'energia solare necessaria al suo sviluppo. Si può osservare come le maggiori differenze di concentrazione siano riscontrabili in corrispondenza delle ore notturne e di transizione, nelle qua-

li lo strato limite atmosferico ha spessore minore. Nella parte centrale della giornata, invece, le concentrazioni hanno valori simili tra i giorni tipo invernali ed estivi a causa della dinamica dei *puff* del modello che, rilasciati a temperatura ambiente e privi di galleggiamento, tendono a restare vicini al suolo contribuendo in modo sproporzionato al calcolo delle concentrazioni simulate. Quantificare la sovrastima che ne consegue costituisce un interessante possibile sviluppo futuro, anche in vista del miglioramento delle tecniche di modellazione e della normativa.

Lo studio modellistico, effettuato a partire dai dati rilevati presso la stazione meteorologica di Arconate, suggerisce che le segnalazioni di impatto olfattivo siano massime nelle ore notturne, crepuscolari e nelle prime ore del mattino, soprattutto a causa dello spessore dello strato limite atmosferico (Arya, 2001; Sozzi et al., 2002), che risulta minore nelle ore prive o povere di insolazione. È altresì prevista una maggiore frequenza di segnalazioni durante le stagioni fredde, durante le quali lo spessore massimo dello strato limite atmosferico è decisamente inferiore.

In Tabella 5 è riportato il numero di occorrenze degli eventi odorosi (segnalate dai gestori degli impianti), pesate secondo il criterio illustrato nel Paragrafo 2.2.

In termini stagionali, i questionari evidenziano una prevalenza di occorrenze estive, probabilmente imputabili ad una accresciuta sensibilità, da parte dei residenti, a percepire la sensazione odorosa a causa della maggior presenza di finestre aperte nelle abitazioni, nonché ad una più marcata variazione delle dinamiche emmissive.

Rispetto alle ore del giorno, invece, emerge una chiara dominanza delle ore stabili, durante le quali lo strato limite planetario ha spessore minimo. Ciò è in pieno accordo con l'andamento delle concentrazioni simulate nei giorni tipo.

Tabella 5 – Numero di occorrenze degli eventi odorosi in funzione dei criteri di convettività o stagionalità

Criterio della convettività/stabilità	Numero di occorrenze	Criterio della stagionalità	Numero di occorrenze
Stabili (mattino, sera, notte)	11,5	Primavera	2,75
		Estate	7,75
Convettive (giorno pieno, pomeriggio)	2,5	Autunno	2,25
		Inverno	4,25

Si può dunque affermare che, mentre l'alternanza giorno-notte rappresenta un elemento di fondamentale importanza nella dinamica delle concentrazioni di sostanze odorigene, la stagionalità, invece, non sembra incidere in maniera rilevante sulla stessa.

3.2. Azioni intraprese per minimizzare l'impatto odorigeno

Gli impianti monitorati sono stati suddivisi in funzione del tipo di azione intrapresa dal gestore nei confronti delle unità maggiormente odorigene (normalmente pre-trattamenti e linea fanghi). Queste ultime sono state classificate come coperte (se all'interno di locali chiusi o dotate di copertura), coperte trattate (sezioni coperte, che trattano in qualche modo le emissioni odorigene) e scoperte trattate (sezioni prive di copertura, ma dotate di qualche forma di trattamento delle emissioni, e.g. barriere osmogene). Nelle Figure 4 e 5 sono riportati, rispettivamente, il quadro sinottico dei risultati ottenuti sul campione di 35 impianti monitorati ed il rapporto fra numero di impianti che coprono e trattano una certa sezione e quello degli impianti che coprono, ma non trattano. Nel primo caso, sono poi stati esaminati i principali sistemi di abbattimento odori implementati (Paragrafo 3.3).

La sezione della linea fanghi che presenta le maggiori criticità e che, per tale ragione, risulta spesso coperta o coperta trattata è la disidratazione mentre, per quanto riguarda la linea acque, la grigliatura, l'arrivo iniziale del refluo e la dissabbiatura/dissolatura rappresentano le unità maggiormente impattanti. L'indagine si è limitata a considerare i trattamenti convenzionali, generalmente presenti in tut-

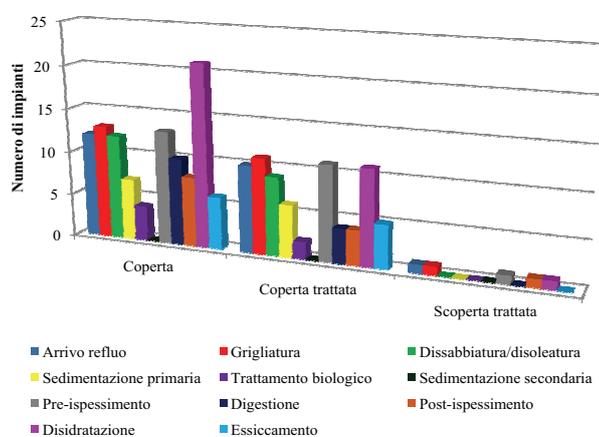


Figura 4 – Accorgimenti adottati, presso gli impianti monitorati, in corrispondenza delle varie unità di trattamento (linea acque e linea fanghi)

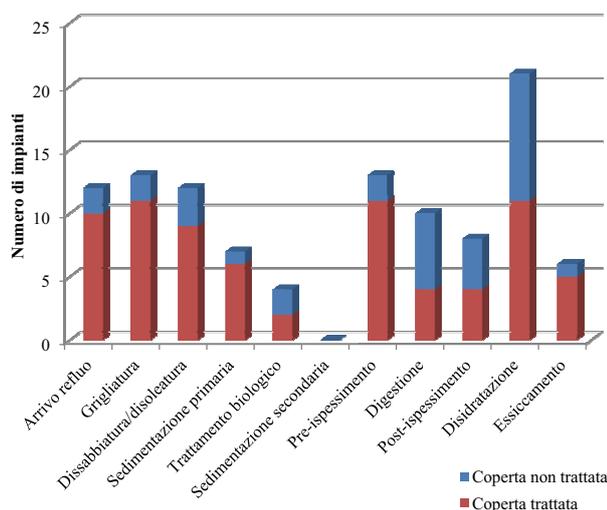


Figura 5 – Rapporto fra numero di impianti che coprono e trattano una certa sezione e numero di impianti che coprono, ma non trattano

ti gli impianti appartenenti al campione selezionato. Questi ultimi sono, per lo più, impianti tradizionali a fanghi attivi (eventualmente dotati di nitrificazione-denitrificazione), con poche eccezioni. Fra i gestori che hanno fornito informazioni in merito, invece, al tipo di digestione applicata ai fanghi, sette hanno dichiarato di effettuare una stabilizzazione anaerobica, generalmente mesofila, mentre quattro applicano un trattamento di tipo aerobico.

3.3. Trattamenti applicati per contrastare l'impatto odorigeno

3.3.1. Principali trattamenti implementati nel campione analizzato

In Figura 6 è riportato il quadro sinottico dei principali trattamenti implementati dai gestori degli impianti monitorati, in corrispondenza delle sezioni coperte, per contrastare l'impatto odorigeno generato dalle stesse. Nella maggior parte dei casi, i questionari riportavano anche la tipologia di scrubber adottata, mentre in altri casi non veniva dettagliata: questa è la ragione per cui, dove non espressamente specificato, è stata indicata, genericamente, la voce "scrubber".

L'istogramma mostra come lo scrubber pluristadio rappresenti, ad oggi, la soluzione più frequentemente implementata in corrispondenza delle sezioni maggiormente impattanti della linea acque e della linea fanghi del campione investigato. I *chemicals* principalmente utilizzati risultano essere acido solforico, soda caustica, ipoclorito di sodio e affini. Altro trattamento degno di nota, per le occorrenze rilevate, è il biofiltro a pietra lavica, se-

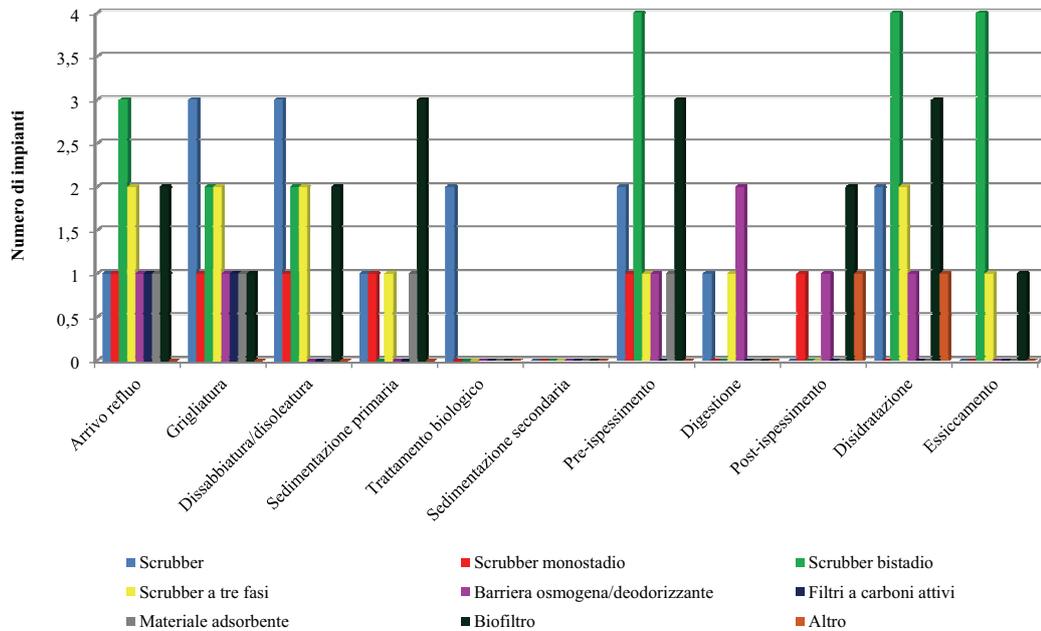


Figura 6 – Tipi di trattamenti adottati, in caso di copertura delle sezioni, presso gli impianti monitorati

guito da quello a torba. L'impiego dei filtri a carboni attivi appare limitato alle sezioni di arrivo del refluo e di grigliatura, mentre le nuove tecnologie basate sull'adsorbimento chimico stanno stando un interesse sempre crescente, soprattutto in corrispondenza di zone caratterizzate da carichi concentrati e portate relativamente ridotte.

Ai gestori è stato, inoltre, richiesto di specificare se il tipo di trattamento scelto venisse applicato in maniera "dedicata" alla singola sezione coperta o in maniera "unificata" a tutte le sezioni coinvolte. È emerso come nove impianti abbiano adottato una strategia dedicata di trattamento, mentre solo quattro abbiano optato per quella unificata. Tale scelta sembra essere condizionata "dall'anzianità" di realizzazione dell'impianto: tanto più questo risulta essere di nuova concezione, tanto più marcata appare la tendenza a realizzare le sezioni, convenzionalmente riconosciute come sorgenti di odori (pre-trat-

tamenti, sedimentazione primaria e linea fanghi), all'interno di un unico fabbricato o, al più, in fabbricati vicini, consentendo in tal modo una migliore gestione dei sistemi di estrazione e trattamento odori (con abbattimento dei costi e riduzione dei rischi di dispersione delle molecole odorigene resa possibile da una minimizzazione delle distanze). In impianti di più antica concezione, al contrario, i diversi interventi sono spesso stati effettuati in fasi successive, senza una pianificazione iniziale globale, portando così alla realizzazione di sistemi di trattamento dedicati a singole sezioni, che si sono rivelati, a volte, non in linea con i risultati attesi.

3.3.2. Feedback del gestore in merito ai risultati di abbattimento degli odori conseguiti

In Tabella 6 è riportata una sintesi delle risposte date dai gestori ad alcune domande riguardanti i sistemi di abbattimento odori adottati. In partico-

Tabella 6 – Sintesi delle risposte date dai gestori alle domande riguardanti i trattamenti odori implementati presso i loro impianti

Scelta del trattamento	Economicità/Prestazioni	Economicità	Prestazioni	Campagne analitiche	Altro
	6	1	4	1	1
Risultato del trattamento	Buono		Discreto	Scarso	
	6	6	1		
Modalità di riscontro del risultato	Audit popolazione coinvolta	Indagini in campo	Abbattimento percepibile	Altro	
	9	7	8	2	
Tipo di indagine in campo	Olfattometria		Modelli di dispersione	Analisi chimiche	
	6	3	3		
Composti target	H ₂ S		NH ₃	SOV (sostanza organica volatile)	Altro
	8	9	7	3	

lare, si è cercato di comprendere se la scelta del trattamento si fosse basata su fattori economici o prestazionali o entrambi e se fosse stata in qualche modo avallata da campagne analitiche, effettuate presso l'impianto, mirate ad ottenere informazioni su specifici composti target da rimuovere. Si è tentato, inoltre, di raccogliere informazioni circa l'efficacia del trattamento selezionato e sulla modalità attraverso la quale tale efficacia è stata testata. Fra i fattori che, nella maggior parte degli impianti analizzati, hanno guidato la scelta del tipo di trattamento, prevale il rapporto economicità/prestazioni. Generalmente, i sei gestori che hanno indicato questo criterio hanno poi optato per scrubber e biofiltri, ottenendo risultati che sono stati giudicati "buoni" (tre impianti) o "discreti" (due impianti) nel rimuovere H_2S , NH_3 e SOV (un gestore si è astenuto dall'esprimere un giudizio sul risultato del trattamento). Il giudizio "buono" è stato riscontrato, in tutti i casi, attraverso un abbattimento considerato "percepibile", avallato (in due impianti su tre) da audit presso la popolazione coinvolta e da analisi chimiche ed olfattometriche (in un impianto su tre). Coloro che, invece, hanno indicato un fattore di scelta meramente prestazionale, hanno di norma adottato nuovamente scrubber e biofiltri con rendimenti valutati, nella quasi totalità dei casi, "buoni". Tale giudizio risulta essere frutto di audit presso la popolazione coinvolta, di abbattimenti ritenuti "percepibili" e, spesso, anche di indagini condotte in campo, sia di tipo chimico che olfattometrico, nonché di simulazioni mediante modelli di dispersione.

Per quanto, infine, riguarda il rapporto fra potenzialità dell'impianto (in termini di A.E. da progetto) e scelta del trattamento, risulta che, sopra i 100000 A.E., otto impianti adottano lo scrubber (probabilmente per problemi legati alla disponibilità di spazio), generalmente da solo (fatta eccezione per due impianti, che accoppiano anche biofiltro o carboni attivi impregnati), mentre tre impianti preferiscono il biofiltro (uno dei quali vi affianca anche i carboni attivi). Sotto i 100000 A.E., invece, non sembra esserci un vero e proprio trend: un impianto adotta la barriera osmogena, uno utilizza barriera osmogena e scrubber, uno opta per l'adsorbimento chimico, due applicano scrubber e biofiltro, uno applica solo lo scrubber e uno adotta solo il biofiltro.

4. CONCLUSIONI

Dall'indagine effettuata è emerso come le sezioni maggiormente soggette alla problematica odori siano sostanzialmente le stesse in tutti gli impianti

monitorati, ovvero i pre-trattamenti, la sedimentazione primaria e la linea fanghi (principalmente la disidratazione) e come il sistema di abbattimento odori più diffusamente impiegato sia lo scrubber. L'indagine ha mostrato, inoltre, chiaramente che le tecnologie di trattamento disponibili vengono spesso applicate non a valle di una razionale e ponderata programmazione degli interventi, bensì sulla base di scelte non pienamente consapevoli e dettate da situazioni contingenti di emergenza o dalla necessità di contenere i costi. Questa mancanza di fondatezza scientifica ha infatti portato, in passato, a propendere per tecnologie economiche, spesso non adeguate alla rimozione di specifici composti target, nei confronti dei quali manca totalmente, o quasi, una valutazione oggettiva e quantitativa.

Regione Lombardia ha avuto certamente il merito di aver fornito alcune indicazioni di base relativamente alle tipologie di trattamento odori utilizzabili all'interno degli impianti di depurazione acque; tuttavia, è pensiero degli autori che sia necessario definire con un maggior grado di dettaglio la correlazione esistente fra queste ultime e gli abbattimenti conseguibili. Una particolare attenzione va posta a quei composti (e.g., idrogeno solforato e ammoniacale), presenti in sezioni quali la digestione anaerobica, che non possono essere rimossi attraverso un singolo stadio di trattamento. Ad esempio, la tecnologia a biofiltro è risultata efficace solamente se accoppiata, come prevede la normativa, ad un preventivo trattamento ad umido e/o a specifici processi per la rimozione di inquinanti non eliminabili per via biologica.

Si sottolinea, inoltre, come la crescente sensibilità verso la problematica delle emissioni odorigene stia, oggi, portando allo sviluppo di nuove tecnologie potenzialmente più idonee al trattamento odori rispetto a quelle convenzionali (e.g., tecnologia al plasma): si ritiene pertanto opportuno che la normativa sia pronta a recepire anche questi nuovi sistemi di abbattimento.

Altro aspetto degno di nota riguarda la progettazione del sistema di collettamento degli odori, che deve essere realizzato con un layout tale (in termini di dimensione delle tubazioni e di caratteristiche dei punti di captazione) da renderne efficace l'estrazione. Pochi impianti, infatti, hanno le sezioni più odorigene coperte e i sistemi di collettamento progettati per garantire il numero voluto di ricambi/ora mediante installazione di *restricted orifice*, *sample connection* ed eventuali serrande e, ancor meno, sono dotati di sistemi di estrazione dedicati sulle macchine che, notoriamente, risultano

essere le più soggette alla problematica. Il sistema di collettamento può, inoltre, essere tale da convogliare tutte le emissioni verso un unico trattamento oppure può prevedere trattamenti separati a seconda delle tipologie di sorgenti interessate.

La corretta progettazione non basta però, da sola, ad eliminare la problematica odori, in quanto occorre che sia sempre abbinata ad un'attenta manutenzione e gestione: quest'ultima passa anche attraverso la consapevolezza dell'esistenza dei fenomeni di inversione termica, convettività e direzione del vento, in quanto in grado di influire sulla dispersione delle sostanze odorigene. La conoscenza dettagliata di questi fenomeni, infatti, ottenuta tramite analisi statistica, può permettere di programmare attività che generano odori nelle condizioni meteorologiche ottimali, evitando periodi di stabilità atmosferica critici. È opportuno quindi che attività, quali lo scarico di bottini, l'evacuazione dei fanghi, lo smaltimento del grigliato, avvengano in periodi caratterizzati da un intenso rimescolamento dell'atmosfera, in grado di promuovere la massima diluizione delle sostanze odorigene.

L'auspicio degli autori è che il quadro delineato nel presente lavoro possa supportare il legislatore nel delicato processo di emanazione di specifiche linee guida, che indirizzino i gestori verso una corretta e sostenibile gestione del "problema odori".

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- APAT (2003) Metodi di misura delle emissioni olfattive. Quadro normativo e campagne di misura. Manuali e Linee Guida 19/2003.
- Arya P. (2001) Introduction to Micrometeorology, 2nd edn. San Diego: Academic Press.
- Cressman G.P. (1959) An operational objective analysis system. Monthly Weather Review 87(10): 367-374.
- D.G.R. n. 709 del 22/4/2002: Linee guida per la progettazione, costruzione e gestione degli impianti di compostaggio e biostabilizzazione.
- D.G.R. n. 7/12764 del 16/4/2003: Linee guida relative alla costruzione e all'esercizio degli impianti di produzione di compost.
- D.G.R. n. 400 del 26/5/2004: Direttive regionali concernenti le caratteristiche prestazionali e gestionali richieste per gli impianti di trattamento dei rifiuti urbani.
- 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.
- D.G.R. n. IX/3018 del 15/2/2012: Determinazioni generali in merito alla caratterizzazione delle emissioni gassose derivanti da attività a forte impatto odorigeno e relativi allegati.
- D.G.R. n. IX/3552 del 30/5/2012: Caratteristiche tecniche minime degli impianti di abbattimento per la riduzione dell'inquinamento atmosferico derivante dagli impianti produttivi e di pubblica utilità, soggetti alle procedure autorizzative di cui al D.Lgs. 152/06 e s.m.i. – Modifica e aggiornamento della D.G.R. 1 agosto 2003 – n. 7/13943.
- D.Lgs. n. 152 del 03/04/2006: Norme in materia ambientale.
- D.M. 29/01/2007: Emanazione di linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili in materia di gestione dei rifiuti, per le attività elencate nell'allegato I del D.Lgs. 18 febbraio 2005, n. 59.
- Jacobson M.Z. (2002) Atmospheric Pollution. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jacobson M.Z. (2005) Fundamentals of Atmospheric Modeling. Cambridge: Cambridge University Press.
- Linee guida per la caratterizzazione e l'autorizzazione delle emissioni gassose in atmosfera delle attività ad impatto odorigeno: Emissioni odorigene in atmosfera da impianti di depurazione reflui. Disponibile su: http://www.reti.regione.lombardia.it/cs/Satellite?c=Redazionale_P&childpage-name=DG_Reti%2FDetail&cid=1213355430857&page-name=DG_RSSWrapper.
- Oke T.R. (1988) Boundary Layer Climates. Oxford: Routledge.
- Regolamento Regionale 24 marzo 2006, n. 3: Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26 (BURL n. 13, 1° suppl. ord. del 28 Marzo 2006).
- SonicLib (2012), User manual of SonicLib, a library for the processing of ultrasonic anemometer data, Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Fisica.
- Sozzi R. e Fraternali D. (1994) PBL_MET: Library for advanced meteorological and air quality processing. Proceedings of the workshop: Intercomparison of Advanced Practical Short-Range Atmospheric Dispersion Models, JRC Ispra, TP 690.
- Sozzi R., Georgiadis T. e Valentini M. (2002) Introduzione alla turbolenza atmosferica: Concetti, stime, misure. Bologna: Pitagora Editrice.
- UNI EN 13725 (2004), Qualità dell'aria: determinazione della concentrazione di odore mediante olfattometria dinamica.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano sentitamente tutti i gestori, sia quelli che hanno rilasciato il loro consenso ad essere citati (Fausto Lombardo di Valbe Servizi s.p.a., Stefano Bressan di Alto Lura s.r.l., Giovanni Bergna di Lariana Depur s.p.a., Riccardo Bianchi di Lura Ambiente s.p.a., Marco Bernasconi di Sud Seveso Servizi s.p.a., Luigi Longhi di Asil s.p.a., Enrico Mariani di Brianzacque s.r.l. e Alberto Turconi di Comodepur s.p.a.), sia quelli che hanno preferito restare in forma anonima, per il prezioso contributo che hanno fornito alla realizzazione del presente lavoro, mettendo a disposizione degli autori i dati e le informazioni di interesse riguardanti gli impianti di depurazione da loro gestiti. Si ringraziano, inoltre, ARPA Lombardia per aver concesso l'uso dei dati micrometeorologici grezzi della stazione di Arconate (rete SHAKEUP), nonché tutti i collaboratori SE-AM engineering S.r.l. per il supporto fornito.



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2016 è sostenuta da:

