



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE



N. 2/2020



Nel trattamento delle acque il massimo rispetto per l'ambiente

Da anni ci dedichiamo con passione
allo sviluppo ed alla messa a punto
di sistemi per la depurazione delle acque
senza inquinare l'aria.

Ozono per ridurre i microinquinanti,
ossigeno per eliminare gli aerosol per soluzioni
a scala reale e sperimentazioni a cura del nostro
laboratorio di biologia e chimica ambientale.

Gruppo SIAD.
Technical gases, Engineering,
Healthcare, LPG and Natural Gas.

thesiadgroup.com

The SIAD logo consists of a stylized green graphic of horizontal lines on the left, followed by the letters "SIAD" in a bold, green, sans-serif font.



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

INDICE



VOL. 7
NUM. 2
2020

Ingegneria
dell'Ambiente
per il 2020 è
sostenuta da:



better together



EDITORIALI

- Eliminare l'acqua dalle acque reflue: un ineluttabile ossimoro per la sostenibilità del ciclo idrico urbano 61
Andrea G. Capodaglio
- Rimozione tecnologica della CO₂, ripristino climatico e umiltà 68
S. Julio Friedmann

ARTICOLI

- Milano senza diesel: quanto migliorerebbe la qualità dell'aria? 74
Camillo Silibello, Alessandro Nanni, Nicola Pepe, Giuseppe Calori, Giuseppe Brusasca
- Uno strumento innovativo per monitorare l'efficienza di aerazione e le emissioni di gas serra negli impianti di depurazione 85
Cecilia Caretti, Iacopo Ducci, Roberta Muoio, Francesco Spennati, Simone Neri, Riccardo Gori

COMUNICAZIONI TECNICO-SCIENTIFICHE

- La trasformazione del settore energetico in Italia 99
Claudia Cafaro, Paolo Ceci, Antonio Fardelli, Elisa Zazzu
- La regolazione della qualità nel settore rifiuti: l'intervento di ARERA 112
Giorgio Ghiringhelli, Carlo Sguario, Paolo Pagani, Giuseppe Sbarbaro, Elisa Amodeo
- Le linee guida sul monitoraggio degli aeriformi del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. Il punto ad un anno dalla pubblicazione 128
Antonella Vecchio, Madela Torretta, Lucina Luchetti, Maurizio Di Tonno, Marco Fontana

PUBBLIREDAZIONALI

- Pack in carta e cartone protagonisti dell'economia circolare – *Comieco* 137
- AUMA: innovazione ed efficienza da oltre 50 anni 141

RUBRICHE

- Informazioni dalle Aziende 144



DIRETTORE RESPONSABILE*Stefano Caserini* (Politecnico di Milano)**DIREZIONE SCIENTIFICA***Stefano Caserini* (Politecnico di Milano)*Roberto Canziani* (Politecnico di Milano)**COMITATO SCIENTIFICO***Manuela Antonelli* (Politecnico di Milano)*Arianna Azzellino* (Politecnico di Milano)*Vincenzo Belgiorno* (Università di Salerno)*Giorgio Bertanza* (Università di Brescia)*Alessio Boldrin* (DTU, Copenhagen, Danimarca)*Gianluigi Buttiglieri* (Catalan Institute for Water Research, Girona, Spagna)*Andrea Capodaglio* (Università di Pavia)*Alessandra Carucci* (Università di Cagliari)*Stefano Cernuschi* (Politecnico di Milano)*Raffaello Cossu* (Università di Padova)*Paola Crippa* (Università di Notre Dame, USA)*Giovanni De Feo* (Università di Salerno)*Massimiliano Fabbri* (Università di Napoli Federico II)*Francesco Fatone* (Università Politecnica delle Marche)*Elena Ficara* (Politecnico di Milano)*Paola Folidori* (Università di Trento)*Mario A. Gandini* (Univ. Aut. de Occidente, Cali, Colombia)*Grazia Ghermandi* (Università di Modena e Reggio Emilia)*Daniele Goi* (Università di Udine)*Mario Grosso* (Politecnico di Milano)*Giovanni Lonati* (Politecnico di Milano)*Claudio Lubello* (Università di Firenze)*Francesca Malpei* (Politecnico di Milano)*Salvatore Masi* (Università della Basilicata)*Giulio Munz* (Università di Firenze)*Salvatore Nicosia* (Università di Palermo)*Senem Ozgen* (Laboratorio Energia e Ambiente, Piacenza)*Cinzia Pastorello* (European Environment Agency, Copenhagen, Danimarca)*Eleonora Perotto* (Politecnico di Milano)*Francesco Pirozzi* (Università di Napoli Federico II)*Alessandra Poletti* (Università di Roma La Sapienza)*Raffaella Pomi* (Università La Sapienza, Roma)*Marco Ragazzi* (Università di Trento)*Ezio Ranieri* (Politecnico di Bari)*Enrico Remigi* (DHI, Merelbeke, Belgio)*Lucia Rigamonti* (Politecnico di Milano)*Paolo Roccaro* (Università di Catania)*Francesco Romagnoli* (Riga Technical Univ., Riga, Lituania)*Diego Rosso* (University of California, Irvine, USA)*Sabrina Saponaro* (Politecnico di Milano)*Elena Sezenna* (Politecnico di Milano)*Fabio Tatano* (Università di Urbino)*Sergio Teggi* (Università di Modena e Reggio Emilia)*Davide Tonini* (JRC Siviglia)*Vincenzo Torretta* (Università dell'Insubria)*Mentore Vaccari* (Università di Brescia)*Paola Verlicchi* (Università di Ferrara)*Gaspere Viviani* (Università di Palermo)*Maria Chiara Zanetti* (Politecnico di Torino)**COMITATO DI REDAZIONE***Arianna Azzellino, Mario Grosso, Giovanni Lonati, Lucia Rigamonti, Elena Sezenna***SEGRETARIA DI REDAZIONE***Loredana Alaimo***INGEGNERIA
DELL'AMBIENTE****N. 2/2020****COPYRIGHT**

I testi sono pubblicati da Ingegneria dell'Ambiente con la licenza CREATIVE COMMONS Attribuzione – Non commerciale – Condividi allo stesso modo 3.0 Italia (CC BY-NC-SA 3.0 IT)

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/it/deed.it>

Chiunque è libero di:

- *Condividere* – riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico, esporre in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare questo materiale con qualsiasi mezzo e formato;
- *Modificare* – remixare, trasformare il materiale e basarsi su di esso per le sue opere;

alle seguenti condizioni:

- *Attribuzione* – Deve essere attribuita adeguatamente la paternità del materiale, fornendo un link alla licenza e indicando se sono state effettuate modifiche. È possibile realizzare queste condizioni in qualsiasi maniera ragionevole, ma senza suggerire che il licenziante avalli il modo in cui il materiale è usato.
- *Non Commerciale* – Non è possibile usare il materiale per scopi commerciali.
- *Stessa Licenza* – Se si trasforma il materiale o ci si basa su di esso, è fatto obbligo di distribuire il contributo così prodotto con la stessa licenza del materiale originario.

Il licenziante non può revocare questi diritti fintanto che i termini della licenza sono rispettati.

EDITORE

COLORSHADE di Cabrini Matteo M., Via Cristoforo Colombo, 7, 20068 Peschiera Borromeo (MI), Italia.

REDAZIONE E PUBBLICITÀ: Loredana Alaimo, Tel. 329.3126157, e-mail: redazione@ingegneriadellambiente.net

Registrata presso il Tribunale di Milano (n.108 del 21/3/2014)

PER ABBONAMENTI: Tel. 02.2847518, Fax 02.45482383, e-mail: amministrazione@ingegneriadellambiente.net

PER INFORMAZIONI: Ing. Stefano Caserini. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA), Sezione Ambientale, Via Golgi 39, 20133 Milano. Tel. 02.23996430, e-mail: info@ingegneriadellambiente.net

Publicato on-line 11 luglio 2020.

Finito di stampare in luglio 2020, presso Colorshade di Cabrini Matteo M., Via Cristoforo Colombo, 7, 20068 Peschiera Borromeo (MI).

ELIMINARE L'ACQUA DALLE ACQUE REFLUE: UN INELUTTABILE OSSIMORO PER LA SOSTENIBILITÀ DEL CICLO IDRICO URBANO

Andrea G. Capodaglio

Dip. Ingegneria Civile e Architettura, Università di Pavia

INTRODUZIONE

Il *Nexus* tra acqua, energia e cibo, risorse chiave per lo sviluppo globale della società, è stato inizialmente identificato come sfida emergente dal World Economic Forum di Davos nel 2008. Sebbene questo articolo si concentri principalmente sui nuovi possibili paradigmi del ciclo delle acque urbane, suggerisce anche esplicite prospettive inter-settoriali alla base della logica di attuazione del *Nexus* nel suo insieme.

Nexus acqua-energia

L'approvvigionamento, la distribuzione e la depurazione dell'acqua richiedono notevoli quantità di energia: il consumo mondiale (principalmente sotto forma di energia elettrica) del settore idrico ha raggiunto nel 2014 120 Mtep, pari a circa il 4% del consumo energetico globale. All'interno di questa cifra, si stima che il consumo relativo al pompaggio rappresenti la quota maggiore della domanda energetica del settore idrico, fino al 90% del totale. Per quanto riguarda il trattamento delle acque reflue, le stime mostrano che il consumo di energia è compreso tra 0,3 e 2,1 kWh/m³ di acqua trattata nella UE (tra 0,41-0,87 kWh/m³ negli Stati Uniti) (Capodaglio e Olsson, 2020).

D'altra parte, le acque reflue contengono notevoli quantità di energia e sostanze potenzialmente recuperabili. Calcoli teorici hanno stimato l'energia chimica dei liquami in 3,86 kWh/kg COD mineralizzato, mentre ricerche sperimentali hanno indicato valori compresi tra 0,89-8,3 kWh/kg di COD.

Anche i fanghi di supero sono, letteralmente, un concentrato di energia, circa 5 volte maggiore rispetto al refluo originale, con contenuto energetico compreso tra 3,2-4,6 kWh/kg (peso secco). Uno studio dei consumi energetici dell'impianto di trattamento della città di Toronto (6,8 MWh/giorno) ha evidenziato che la stima del contenuto di energia totale del refluo (62,8 MWh/giorno) supera con rapporto maggiore di 9 l'energia richiesta dai processi (Shizas e Bagley, 2004). Anche considerando inevitabili perdite di processo e conversione, i liquami potrebbero quindi costituire una significativa fonte di energia sia nei paesi industrializzati che nei pae-

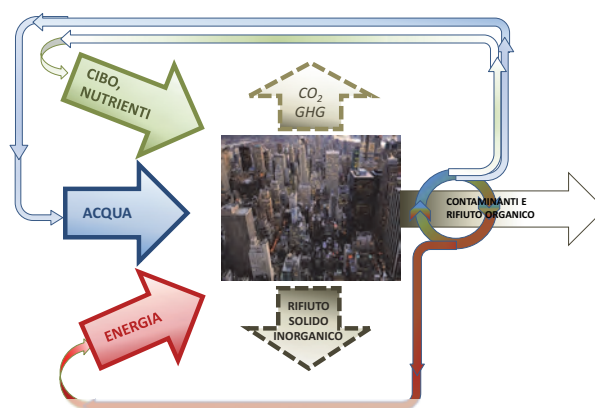


Figura 1
Economia circolare nel ciclo idrico urbano

si in via di sviluppo, spesso privi di approvvigionamento energetico locale, anche attraverso sistemi decentralizzati di trattamento. La generazione della quantità di energia teoricamente recuperabile a scala globale dai liquami (stimabile in circa 560 TWh/anno) richiederebbe l'uso di circa 50 Mtep di combustibili fossili, che produrrebbero emissioni di gas serra per circa 100×10^6 t CO_{2,eq}, poco più del 3% delle attuali emissioni globali (33×10^9 t CO_{2,eq}). Ne consegue che le acque reflue e i relativi residui di processo possano sempre più essere, a ragione, considerati come potenziali risorse energetiche e sostanze a valore aggiunto, ivi inclusi fertilizzanti e acque di riuso, secondo i nuovi paradigmi dell'Economia Circolare, esemplificata nella Figura 1 per quanto riguarda il ciclo delle acque urbane.

Nexus acqua-cibo

L'acqua è direttamente necessaria non solo per la vita, ma anche per la produzione di cibo; inoltre, le acque reflue contengono notevoli quantità di nutrienti essenziali per le colture. L'adozione di nuovi paradigmi nel ciclo dell'acqua urbano sembra quindi inevitabile non solo per le citate ragioni di conservazione dell'energia e dell'acqua ma anche considerando il trend della disponibilità, produzione e consumo di roccia fosfatica, il minerale da cui viene estratto il fosforo (per il 95% destinato al settore agricolo). Secondo il CEO della Morocco Phosphate Company, il più grande fornitore mondiale di que-

sto minerale “è probabile che il mondo esaurisca nel prossimo futuro le riserve di rocce fosfatice economicamente accessibili”, il che avrebbe conseguenze potenzialmente catastrofiche sulla possibilità di sfamare la crescente popolazione mondiale.

A valle delle perdite legate alle molteplici inefficienze del ciclo antropico del fosforo, le deiezioni umane contengono circa il 16% del fosforo minerale consumato nel mondo. Il recupero e il riciclo di tale frazione potrebbero contribuire, anche se non in modo decisivo, a ridurre parzialmente la dipendenza dell’umanità dal fosforo estratto, e ad estendere la durata residua, stimata tra i 150 e i 300 anni, delle limitate riserve di questo minerale. Processi biologici combinati con la precipitazione di minerali di fosforo (struvite, idrossiapatite, fosfato di calcio, ecc.), sono attualmente considerati tra i metodi più efficienti per il suo recupero (Daneshgar et al., 2018).

DEPURAZIONE PER OBIETTIVI E SEPARAZIONE DELLE CORRENTI

Questi approcci sono stati proposti, in combinazione a processi di trattamento più efficienti dal punto di vista energetico, per consentire lo sviluppo di cicli idrici alternativi, energeticamente neutri, o persino positivi. Il trattamento differenziato e la riduzione dei flussi potrebbero ridurre significativamente il fabbisogno energetico non solo dal lato del trattamento e dello smaltimento del ciclo, ma anche dal la-

to dell’erogazione e della distribuzione, fornendo fonti di approvvigionamento alternative più vicine ai punti di utilizzo. Molti usi attuali potrebbero infatti essere soddisfatti da acqua di qualità inferiore a quella potabile, dal momento che l’accesso a fonti idriche di alta qualità è sempre più problematico a livello globale, e che per l’uso potabile sono richiesti trattamenti sempre più spinti, ad alta intensità energetica. Impianti decentralizzati basati su obiettivi di trattamento “personalizzati” (cosiddetti “Fit-for-Purpose”) (Figura 2) (Water Environment Federation, 2017) possono fornire acqua di approvvigionamento con requisiti di qualità adatti a diversi usi finali. Ad esempio, reflui domestici con trattamento in loco potrebbero alimentare gli sciacquoni, impianti di raffreddamento residenziale o industriale, o irrigare aree verdi. Anche l’acqua potabile potrebbe essere fornita attraverso impianti di trattamento decentralizzati, evitando il trasferimento bidirezionale a lunga distanza di reflui e dell’approvvigionamento. I sistemi fognari a lunga distanza richiedono infatti ingenti investimenti iniziali per la costruzione, che possono costituire oltre l’80% del costo totale di un sistema idrico urbano, ed elevate quantità di energia per il funzionamento. È stato anche dimostrato che, contrariamente alle ipotesi tradizionalmente adottate, le economie di scala nella progettazione dei sistemi idrici sono poco influenzate dal consumo specifico e dalla densità di popolazione assoluta, ma so-

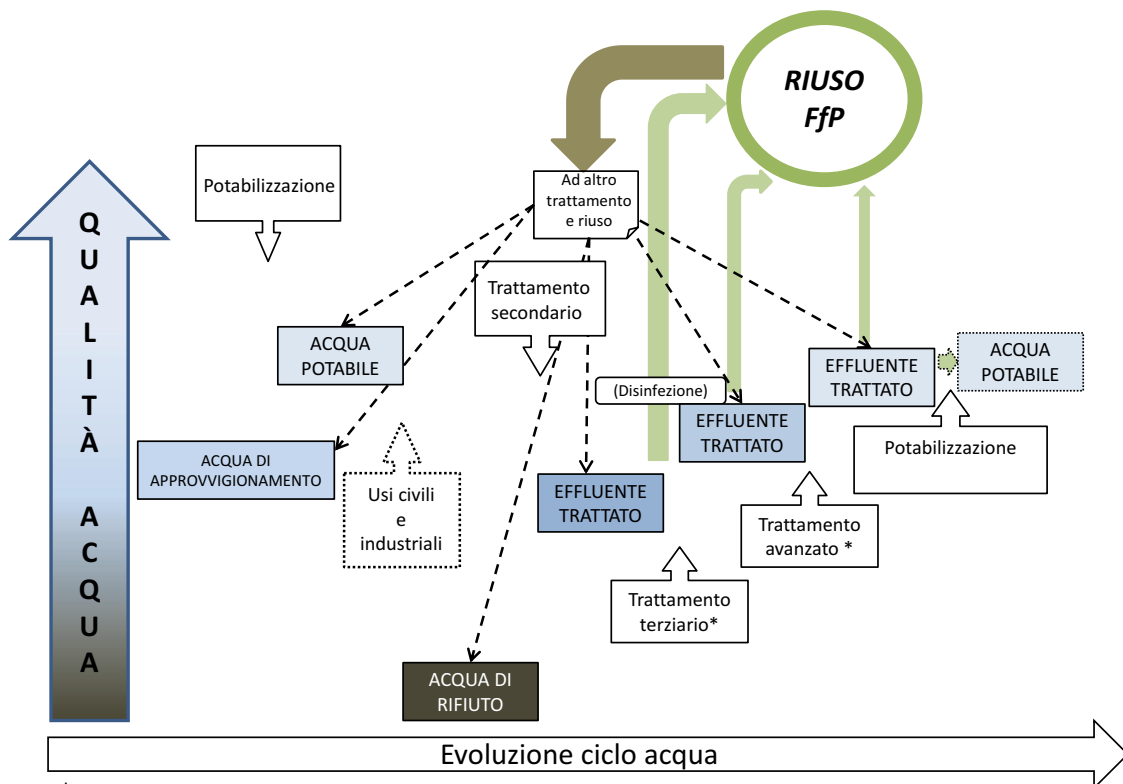


Figura 2 * Livelli di trattamento in funzione del riuso e contaminanti presenti. Trattamento per obiettivi (Fit-for-purpose) nel ciclo idrico. * Livelli di trattamento in funzione del riuso e contaminanti presenti.

no molto sensibili alla distribuzione spaziale della popolazione servita (Maurer et al., 2005).

Il trattamento per obiettivi può consentire il riutilizzo idrico per diversi usi, potabili e non, il ripascimento di corpi idrici, e usi industriali, in conformità con le norme applicabili esistenti. Come applicazione estrema di questi concetti, il cosiddetto “*sewer mining*”, che consiste nell'estrazione di liquame direttamente da un collettore fognario e nel suo trattamento sul posto per riutilizzo specifico, evitando quindi il pompaggio fino a un impianto di trattamento centralizzato e il successivo ripompaggio di ritorno, è attualmente applicato in alcuni paesi, ad es. in Australia, notoriamente in deficit di risorse idriche.

La separazione alla fonte delle correnti è tra le soluzioni recentemente proposte, riconosciuta da molti come uno dei concetti più promettenti di “nuova igiene urbana” (*new sanitation*) in grado di ristabilire l'equilibrio dei cicli del carbonio, dei nutrienti e dell'acqua. Le acque nere (deiezioni) sono ricche di sostanze organiche (5.000-93.000 mg/L) e nutrienti (1.500-16.000 mg N/L e 500-3000 mg P/L), caratterizzate da alto contenuto di solidi (16.000-125.000 mg/L). Le acque grigie (scarichi dei lavandini, doccia, lavatrici, ecc.), d'altra parte, hanno basso COD (200-450 mg/L), bassi N e P (6-22 e 0,4-8 mg/L, rispettivamente) e basse concentrazioni di solidi e agenti patogeni, ma un contenuto di metalli e microinquinanti più elevato. L'urina, con elevato COD (4.000-11.000 mg/L), azoto (4.000-11.000 mg/L) e fosforo (200-4.000 mg/L) e basse concentrazioni di metalli e microinquinanti, salvo l'eventuale presenza di residui farmaceutici e loro metaboliti può essere ulteriormente separata con apposita impiantistica interna (Tervahauta et al., 2013).

La separazione delle varie componenti può essere gradualmente implementata anche in aree con infrastrutture esistenti, portando a periodi di transizione durante i quali i sistemi presenti continueranno a funzionare in modalità mista. Lo studio dei bilanci di massa per valutarne l'impatto, basato sull'ipotesi di co-digestione diretta di acque nere e fanghi di depurazione, e trattamento di acque grigie mediante processi convenzionali, ha indicato che anche la implementazione graduale della separazione delle fonti domestiche potrebbe essere vantaggiosa per migliorare il bilancio energetico e il recupero dei nutrienti negli impianti, e che questi obiettivi potrebbero essere raggiunti con piccole modifiche ai processi e alle strutture esistenti (Morandi et al., 2018).

La separazione alla fonte, tuttavia, avrebbe una applicazione ideale in sistemi decentralizzati, in quanto consente il recupero locale delle risorse secondo i principi e le esigenze del trattamento per obiettivi, con minimi interventi infrastrutturali. Le tecnologie attualmente disponibili possono infatti fornire soluzioni adeguate in tutti questi casi, con trattamento della componente “nera” in impianti di piccole dimensioni e riutilizzo delle acque “grigie” appropriato alle esigenze locali. La raccolta centralizzata a scala urbana delle diverse correnti e la distribuzione di acque di approvvigionamento per usi differenziati, viceversa, richiederebbero una estesa duplicazione delle reti, sia di approvvigionamento (potabile/non potabile), che di smaltimento (nero/grigio). L'adozione della distribuzione differenziata può tuttavia rivelarsi indispensabile in aree a forte scarsità di risorse idriche, e infatti queste sono già utilizzate in alcuni paesi: in Giappone (Tokyo e Fukuoka), a Singapore, e in diverse città degli Stati Uniti (USEPA, 2012). Scelte di rottura rispetto ai paradigmi tradizionali, relative all'introduzione di schemi di riuso idropotabile delle acque reflue (*toilet to tap*) sono già state messe in atto, ad esempio attraverso il programma “NEWater” a Singapore, che fornirà a regime 600.000 m³/giorno di acqua potabile. Schemi simili sono in corso di implementazione anche negli Stati Uniti: nella città di El Paso (Texas) è attualmente in costruzione un impianto di riutilizzo potabile diretto con capacità di 38000 m³/giorno (USEPA, 2017).

Sebbene i sistemi di trattamento idropotabile diretto potrebbero avere maggior intensità energetica rispetto agli schemi tradizionali (questo dipende da molti fattori, soprattutto dalla qualità e dalla localizzazione delle fonti), la scelta di adottare queste soluzioni è spesso dettata da circostanze non altrimenti risolvibili, come la mancanza di fonti alternative sostenibili (caso di El Paso) e considerazioni geopolitiche (la scelta NEWater a Singapore include considerazioni di autosufficienza idrica strategiche per la nazione). Dal punto di vista energetico, secondo le autorità locali, la produzione di NEWater richiede all'incirca un quarto dell'energia necessaria per la produzione di acqua potabile tramite desalinizzazione.

PARADIGMI PRESENTI E FUTURI PER LE RETI DI DRENAGGIO URBANE

Per sfruttare appieno il potenziale delle tecnologie idonee al recupero di risorse dalle acque reflue è necessario applicare nuovi paradigmi per i sistemi di collettamento urbani. Storicamente, la gravità è sta-

ta utilizzata come principale forza motrice per il trasporto dei reflui; questo richiede frequenti pompaggi per il mantenimento del flusso, con forte consumo energetico. Inoltre, la gestione dei reflui si basa su un approccio svantaggioso a priori, che utilizza grandi volumi di acqua (spesso costituita da acqua potabile, costosa e ad alta intensità energetica) come mezzo di diluizione e trasporto di flussi diversi miscelati e inviati a impianti centralizzati. In regioni con deficit endemici di risorse idriche, questo approccio può influire fortemente sulla risorsa disponibile.

I sistemi tradizionali sono passibili di fenomeni di infiltrazione che possono incrementare le portate convogliate e diluire ulteriormente i liquami o, al contrario, essere soggetto a perdite con potenziale inquinamento della falda. Poiché i tempi di percorso in fognatura possono essere significativi, processi fisici e biochimici possono indurre significativi cambiamenti delle caratteristiche dei reflui, ragion per cui le reti fognarie sono considerate a pieno titolo reattori chimici e biologici (Hvitved-Jacobsen et al., 2002), con impatto diretto sia sulle strutture stesse (ad es., produzione di H_2S che può causare corrosione strutturale) e sui processi di trattamento (ad es., modificando il contenuto organico e i rapporti tra le diverse frazioni del substrato). Inoltre, sistemi fognari misti possono indurre i ben noti scarichi di troppo pieno durante eventi di pioggia (CSO – combined sewer overflows) in grado di compromettere la qualità dei recettori.

Dal punto di vista del recupero di risorse, elevati livelli di diluizione lo rendono meno efficiente a causa delle limitazioni tecniche dei processi. Reflui diluiti infatti richiedono l'adozione di processi biologici rapidi (aerobici), al fine di contenere le dimensioni delle unità di trattamento, che tuttavia impongono un elevato consumo energetico per fornire l'acceptore di elettroni (ossigeno) necessario. Il fabbisogno energetico di aerazione può infatti rappresentare oltre il 50% del fabbisogno totale di un impianto. Tra le opzioni di processo che potrebbero consentire un recupero efficiente dell'energia contenuta nei reflui, i processi anaerobici possono essere considerati le più mature, già oggetto di innumerevoli applicazioni in tutto il mondo. Tuttavia, l'effetto della diluizione ostacola la loro applicazione ottimale, poiché rende necessarie unità di processo significativamente più grandi a causa delle cinetiche metaboliche più lente.

Paradigmi innovativi basati su sistemi di fognatura e trattamento decentralizzati, segregazione delle correnti e minima diluizione potrebbero comportare significativi risparmi energetici per il trasporto e

il trattamento, nonché il miglioramento dell'efficienza dei processi (Opher e Friedler, 2016). L'applicazione di approcci decentralizzati può rendere più semplice l'implementazione di schemi locali di riutilizzo dell'acqua, riducendo i consumi di acqua potabile per gli usi meno pregiati.

La segregazione delle correnti può ridurre significativamente le portate reflue e modificarne le caratteristiche, favorendo l'applicazione di tecnologie anaerobiche in condizioni ottimali. Ad esempio, considerando la componente "nera", l'uso di sistemi di separazione potrebbe consentire di risparmiare fino a 32 L/giorno procapite, rispetto ai sistemi attuali, a seconda delle soluzioni applicate. Inoltre, ipotizzando il riutilizzo di acque grigie trattate localmente per usi non potabili (ad es. sciacquone, pulizia e irrigazione) si potrebbero risparmiare ulteriori 80 L/giorno di acqua potabile procapite (Tervahauta et al., 2013). Ciò potrebbe ridurre (supponendo che si scarichi solo la componente nera) la portata in fognatura a circa 10 L/procapite/giorno, secondo ipotesi conservative (Otterpohl et al., 2002), con COD stimato in circa 8000 mg COD/L, ovvero un ordine di grandezza superiore ai valori medi attuali, con un possibile intervallo compreso tra 2500-20000 mg COD/L (Henze, 2019).

Eliminare l'acqua dalle acque reflue: si può fare?

Eliminando la maggior parte dell'acqua dalle acque reflue, i benefici della separazione alla fonte delle varie componenti potrebbero essere sfruttabili tramite sistemi di collettamento basati su nuovi paradigmi. Un esempio è il sistema di fognatura a vuoto (o a depressione), brevettato negli Stati Uniti nel 1888, ma apparso nella pratica comune, su piccola scala, solo nei primi anni '60 (Figura 3). In una fognatura a vuoto, la forza motrice è data dalla differenza tra pressione atmosferica e depressione interna, mantenuta da apposite centraline e valvole di controllo. La tecnologia dei sistemi a vuoto non è oltremodo costosa, ma è relativamente più sofisticata rispetto a quella tradizionale, e pertanto richiede progettazione e costruzione più precise. D'altro canto, i sistemi fognari a vuoto presentano notevoli vantaggi: i costi di costruzione sono in media più bassi (del 30-35%) grazie a materiali più economici e in quantità più ridotta, scavi meno profondi, assenza di tombini e passi d'uomo, maggior flessibilità nel tracciato di posa, tempi di realizzazione più rapidi e minori disagi in superficie durante la costruzione. I costi operativi e di manutenzione sono inferiori, all'incirca per la medesima percentuale, a causa dell'assenza delle necessità di

pulizia, minori requisiti energetici per il mantenimento del vuoto e facilità nel controllo delle portate (Shafiqul Islam, 2017). È stato stimato che le rotture relative a condotte (che rappresentano più del 98% dei guasti nei sistemi convenzionali) rappresentino meno del 5% dei problemi operativi nelle fognature a vuoto esistenti. D'altra parte, i problemi sulle valvole a vuoto rappresentano circa l'80% dei guasti in questi sistemi, tuttavia, i tempi di intervento necessari risultano più brevi rispetto a quelli relativi ai sistemi di gravità, infatti l'86% dei guasti nelle reti a vuoto viene generalmente risolto entro 2 ore dal rilevamento (Misza-Kruk, 2016). Inoltre, queste reti dimostrano anche importanti vantaggi ambientali, come: assenza di perdite e bassissima probabilità di infiltrazione, e trasporto rapido dei liquami cosicché la sostanza organica arriva "più fresca" al trattamento.

Al momento, il più grande sistema di questo tipo in funzione è quello costruito all'inizio del millennio a Palm Island (Dubai), con una rete totale di 40 km e circa 2000 abitazioni servite. L'affinamento tecnologico ha dimostrato l'affidabilità, efficienza ed economia, di questi sistemi e pertanto la loro applicazione è aumentata in modo significativo negli ultimi 25 anni, con diverse migliaia di reti operative. Una indagine del 2008 ha indicato che le due principali aziende specializzate nella costruzione di questi sistemi avevano completato da sole oltre 1000 installazioni in diversi paesi: Stati Uniti (> 250), Germania (> 300), Giappone, Francia, Regno Unito (> 100 ciascuno), Australia, Repubblica Ceca e Polonia (~50 ciascuno) e in molti altri (Terry e Lazar, 2016).

Idealmente, in una urbanizzazione servita da rete a vuoto, le acque grigie non sarebbero inviate in rete, ma trattate localmente per un riutilizzo locale. Al fine di massimizzare la raccolta di sostanza organica in vista del successivo recupero energetico, gli scarichi dei trituratorini da cucina potrebbero essere collegati alla componente nera, aumentandone il carico organico senza i problemi che elevate quantità di solidi aggiuntivi possono causare nelle fognature tradizionali. Un'analisi dettagliata di questa tecnologia è stata recentemente presentata dal centro di ricerca Fraunhofer di Stoccarda (Fraunhofer IGB, 2016): le conclusioni indicano che questa tecnologia dovrebbe essere considerata come opzione realistica per le future infrastrutture idriche urbane, per quanto riguarda le questioni di sostenibilità ambientale, sociale ed economica. Dal punto di vista della sostenibilità, inoltre, con questa soluzione è possibile ottenere significative riduzioni di emissioni energetiche e gas serra, sia in fase di costruzione che operativa (Panfil et al., 2013). Queste considerazioni si estendono anche ai trattamenti dei reflui: si può infatti supporre che tecnologie energeticamente più efficienti (anaerobiche) che consentano sia risparmio (per mancanza dei requisiti di aerazione) che recupero energetico (come produzione di CH_4 , o anche H_2) potrebbero essere utilizzate in queste condizioni. Questo cambio di paradigma tecnologico potrebbe quindi migliorare significativamente l'economia generale e la sostenibilità dei sistemi idrici urbani. Elevate concentrazioni dei reflui, tuttavia, potrebbero influire sulle operazioni di trattamento: se il collettamento a vuoto con separazione riduce fortemente la diluizione della sostanza organica, po-

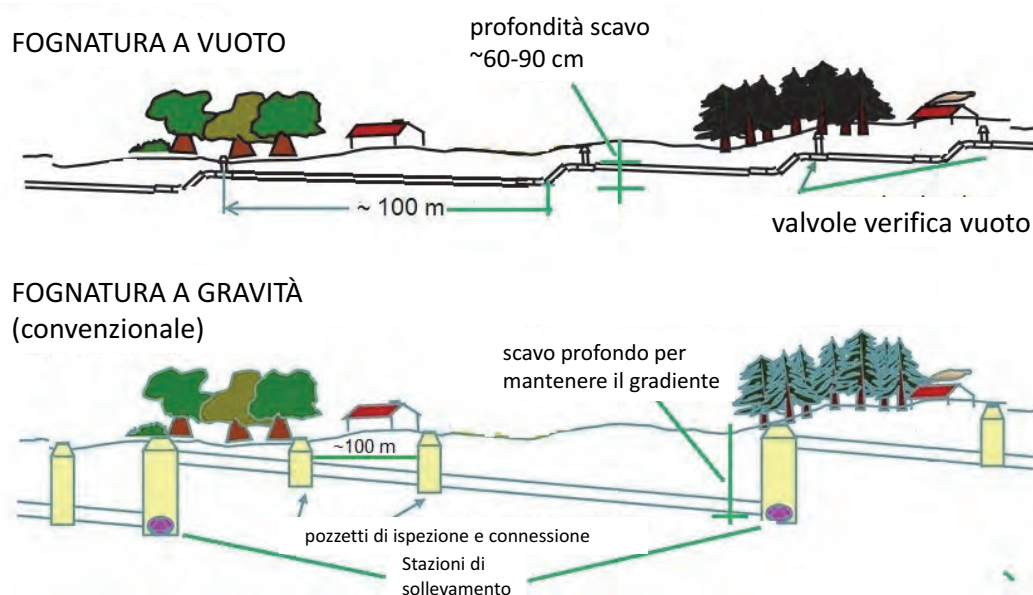


Figura 3
Schema di fognature a vuoto (sopra) e gravità (sotto)

tenzialmente massimizzando l'efficienza di recupero energetico, allo stesso tempo esso concentra anche altri inquinanti (metalli, solfuri e ammoniaca) che potrebbero inibire gli stessi processi anaerobici (Gao et al., 2019). Elevate concentrazioni di ammonio libero, infatti, possono inibire la fase metanogena del processo. È stato tuttavia dimostrato che l'aggiunta di carbone attivo granulare (CAG) al substrato può migliorare di oltre il 18% la produzione di biogas da reflui concentrati, anche in presenza di alti livelli di ammonio (Florentino et al., 2019). Una alternativa al carbone attivo convenzionale può essere rappresentata dal biochar derivato dai fanghi biologici stessi, con ulteriore miglioramento della sostenibilità del ciclo di trattamento (Callegari e Capodaglio, 2018). Miglioramenti nella produzione di biogas sono stati ottenuti mediante implementazione di digestione anaerobica bioelettrochimicamente assistita, in grado di aumentare la frazione di metanigeni presenti nel digestore (Gajaraj et al., 2016).

Le considerazioni sopra esposte evidenziano la necessità di rivalutare alcune ipotesi progettuali ben radicate per la pianificazione e la progettazione dei nuovi sistemi di gestione delle acque reflue urbane. Lo sviluppo dei nuovi paradigmi richiederà quindi un adattamento dei processi tecnologici attuali per ottimizzarne l'efficienza ed efficacia in condizioni operative modificate.

PROSPETTIVE FUTURE

Le tecnologie di trattamento decentralizzate comprendono una vasta gamma di processi di varia complessità. Dal punto di vista dei costi, le opzioni tecnologiche più avanzate stanno rapidamente diventando comparabili – per unità di carico inquinante rimosso – alle applicazioni centralizzate. La gran parte delle infrastrutture idriche nei paesi sviluppati, vicine alla vita utile di progetto, dovrà subire una sostanziale ricostruzione nel prossimo decennio, anche per essere adeguata a nuovi requisiti (maggiore efficienza, rimozione degli inquinanti emergenti, adeguamento a cicli di economia circolare e sostenibilità). Il passaggio a sistemi decentralizzati con separazione delle correnti potrebbe quindi costituire un approccio appropriato e, a lungo termine, economicamente valido, consentendo l'estensione del servizio in base a necessità correnti, con investimenti iniziali ridotti e gradualità espansive future. È stato infatti stimato che i costi di investimento nei sistemi fognari prevalgono su quelli degli impianti di trattamento per un rapporto in eccesso a 3:1 (Maurer et al., 2005), e

le stesse stime indicano che i livelli assoluti di trattamento hanno un'influenza marginale sui costi di investimento totali. Sistemi tipo "cluster" potrebbero quindi essere una soluzione ai problemi di gestione del ciclo delle acque urbane per comunità di dimensioni ridotte anche all'interno di contesti più ampi. La transizione da grandi sistemi di trattamento centralizzati a sistemi decentralizzati potrebbe essere un approccio alternativo al ciclo delle acque urbane, con livelli di trattamento paragonabili a quelli dei sistemi centralizzati, maggiori affidabilità e flessibilità (Engin e Demir, 2006).

Moderni sistemi di raccolta decentralizzata, a bassa diluizione, progettati per il recupero sostenibile di acqua, nutrienti e materia secondo consolidati criteri di protezione ambientale, potrebbero pertanto cambiare radicalmente l'attuale approccio alla gestione delle acque urbane. Considerando i crescenti eventi di carenza idrica nel mondo, il riutilizzo efficiente delle risorse idriche dovrebbe essere una priorità generalizzata, e non a caso le Nazioni Unite hanno recentemente identificato le acque reflue come una fonte di acqua disponibile non ancora sfruttata (UN-Water, 2018).

Nuove sfide, che richiedono soluzioni innovative insorgono costantemente nel settore idrico: ad esempio, i problemi relativi ai contaminanti emergenti (prodotti farmaceutici, interferenti endocrini, ecc.) a concentrazioni molto ridotte, che non sono rimossi in modo significativo dagli attuali processi, richiedono l'adozione di nuove tecnologie di processo per essere eliminati. Segregazione alla fonte e minor diluizione potrebbero favorire l'adozione di nuove, più efficienti tecnologie (Capodaglio, 2018).

CONCLUSIONI

La combinazione di diversi fattori critici, come la variabilità climatica che altera le dinamiche idrologiche, le crescenti scarsità di nuove risorse di acqua dolce, e domanda di acqua potabile (e non), sta provocando incertezze sulle future disponibilità e sicurezza della risorsa idrica in molte aree del globo. È quindi necessaria una maggior resilienza dei sistemi di approvvigionamento e in questo senso il riutilizzo locale delle acque diventerà sempre più fondamentale nella futura gestione delle risorse idriche a livello urbano, e questo non solo nelle aree a conclamata scarsità d'acqua. Inoltre, i problemi relativi alle emissioni energetiche e ai gas serra stanno diventando sempre più ovvi grazie alla comprensione più approfondita del Nexus acqua-energia. La necessità inderogabile di modificare l'approccio alla gestione delle risorse idriche

per risolvere i problemi succitati è riconosciuta con evidenza sempre crescente. Eliminare l'acqua dalle acque reflue attraverso un uso appropriato della tecnologia disponibile potrebbe portare alla realizzazione di sistemi idrici urbani sostenibili, resilienti ed efficienti dal punto di vista energetico, in grado di recuperare risorse ed energia e fornire diversi tipi di acqua per usi locali selezionati.

Nota

Questo editoriale è basato su una più ampia pubblicazione dell'autore nella rivista *Water Environment Research*, giornale della Water Environment Federation, intitolata "Taking the water out of 'wastewater': an ineluctable oxymoron for urban water cycle sustainability" (<https://doi.org/10.1002/wer.1373>).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Callegari A., Capodaglio A.G. (2018) Properties and beneficial uses of (bio)chars, with special attention to products from sewage sludge pyrolysis. *Resources*, 7(1), 20. doi: 10.3390/resources7010020
- Capodaglio A.G. (2018) Could EB irradiation be the simplest solution for removing emerging contaminants from water and wastewater? *Water Practice and Technology*, 13(1), 172-183. doi: 10.2166/wpt.2018.027
- Capodaglio A.G., Olsson G. (2020) Energy issues in sustainable urban wastewater management: use, demand reduction and recovery in the Urban Water Cycle. *Sustainability*, 12(1), 266. doi: 10.3390/su12010266
- Daneshgar S., Callegari A., Capodaglio A.G., Vaccari D. (2018) The Potential Phosphorus Crisis: Resource Conservation and Possible Escape Technologies: A Review. *Resources*, 7, 37.
- Engin G.O., Demir, I. (2006) Cost analysis of alternative methods for wastewater handling in small communities. *Journal of Environmental Management* 79, 357-363. doi: 10.1016/j.jenvman.2005.07.011
- Florentino A.P., Sharaf A., Zhang L., Liu Y. (2019) Overcoming ammonia inhibition in anaerobic blackwater treatment with granular activated carbon: the role of electroactive microorganisms. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 5, 383-396. doi: 10.1039/c8ew00599k
- Fraunhofer IGB (2016) Guideline: Vacuum sewer systems. Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB. Stuttgart, Germany
- Gajaraj S., Huang Y., Zheng P., Hu Z. (2016) Methane production improvement and associated methanogenic assemblages in bioelectrochemically assisted anaerobic digestion. *Biochemical Engineering Journal*, 117, 105-112. doi: 10.1016/j.bej.2016.11.003
- Gao M., Zhang L., Florentino A.P., Liu Y. (2019) Performance of anaerobic treatment of blackwater collected from different toilet flushing systems: Can we achieve both energy recovery and water conservation? *Journal of Hazardous Materials*, 365, 44-52. doi: 10.1016/j.jhazmat.2018.10.055
- Henze M. (2019) Wastewater characterization. In "Online course on biological wastewater treatment: principles, modelling and design". IHE Delft. Retrieved from: <https://ocw.un-ihe.org/> (accessed 31 October 2019).
- Hvitved-Jacobsen T., Vollertsen J., Matos J.S. (2002) The sewer as a bioreactor – a dry weather approach. *Water Science & Technology*, 45(3), 11-24. doi: 10.2166/wst.2002.0044
- Maurer M., Rothenberger D., Larsen T.A. (2005) Decentralised wastewater treatment technologies from a national perspective: At what cost are they competitive? *Water Sci. Tech*, 5, 145-154.
- Miszta-Kruk K. (2016) Reliability and failure rate analysis of pressure, vacuum and gravity sewer systems based on operating data. *Engineering Failure Analysis*, 61: 37-45. doi: 10.1016/j.engfailanal.2015.07.034
- Opher T., Friedler E. (2016) Comparative LCA of decentralized wastewater treatment alternatives for non-potable urban reuse. *Journal of Environmental Management*, 182, 464-476. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.07.080
- Otterpohl R., Braun U., Oldenburg M. (2002) Innovative technologies for decentralised wastewater management in urban and peri-urban areas. In *Proceedings of the 5th Specialised Conference on Small Water and Wastewater Treatment Systems*, Istanbul, Turkey, 24-26 September 2002.
- Panfil C., Mirel I., Szgyarto I., Isacu M. (2013) Technical, economical, social and ecological characteristics of vacuum sewage system. *Environmental Engineering Management Journal*, 12, 1017-1022. doi: 10.30638/eemj.2013.125
- Shafiqul Islam M. (2017) Comparative evaluation of vacuum sewer and gravity sewer systems. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 8(1), 37-53. doi: 10.1007/s13198-016-0518-z
- Shizas I., Bagley D.M. (2004) Experimental Determination of Energy Content of Unknown Organics in Municipal Wastewater Streams. *Journal of Energy Engineering*, 130(2). doi: 10.1061/(ASCE)0733-9402(2004)130:2(45).
- Terryn I.C., Lazar G. (2016) Driving forces affecting the adoption of Eco-innovation: A survey on vacuum sewer systems. *Environmental Engineering Management Journal*, 15(3), 589-598. doi: 10.30638/eemj.2016.064
- Tervahauta T., Trang H., Hernández L., Zeeman, G., Buisman C.J.N. (2013) Prospects of Source-Separation-Based Sanitation Concepts: A Model-Based Study. *Water*, 5, 1006-1035. doi: 10.3390/w5031006
- UN-Water (2018) The United Nations World Water Development Report 2018. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. New York. Retrieved from: www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2018/
- USEPA (2017) 2017 Potable Reuse Compendium. Office of Ground Water and Drinking Water, Office of Water. U.S. Environmental Protection Agency EPA/810/R-17/002. Washington, DC.
- USEPA (2012) Guidelines for Water Reuse. Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development. EPA/600/R-12/618. Cincinnati, Ohio.
- WEF (2017) The Water Reuse Roadmap. Water Environmental Federation, Alexandria, VA.



Negli ultimi 200 anni, involontariamente, gli esseri umani hanno gravemente alterato gli equilibri globali dei nostri ecosistemi, immettendo in atmosfera quantità incontrollate di gas serra. Gli esseri umani hanno anche sviluppato le tecnologie sia per ridurre drasticamente le emissioni di gas serra, sia per rimuovere dall'atmosfera il principale di questi gas, la CO₂, attraverso una combinazione di soluzioni naturali e tecnologiche. In sostanza, l'umanità deve ricorrere alla rimozione della CO₂ in aggiunta alle massime riduzioni delle emissioni di gas serra mediante misure convenzionali di mitigazione, per raggiungere dapprima emissioni nette di gas serra pari a zero, e quindi un ammontare netto negativo delle emissioni stesse.

Il raggiungimento di questo obiettivo richiederà enormi sforzi finanziari e una sostanziale collaborazione tra gruppi di persone che solitamente non lavorano insieme: esperti di tecnologie, operatori finanziari e autorità di governo. Oltre all'aumento e all'accelerazione delle ambizioni, è altrettanto necessaria l'umiltà. Il compito richiede numerosi e rilevanti risultati in ambiti che normalmente molti scienziati e ingegneri comprendono solo approssimativamente (ad esempio, la predisposizione di strumenti legislativi e normativi, l'effettiva applicazione delle norme e l'incentivazione delle iniziative di project financing).

La mappa non è il territorio (Alfred Korzybski)

RIMOZIONE TECNOLOGICA DELLA CO₂, RIPRISTINO CLIMATICO E UMILTÀ

S. Julio Friedmann

Center on Global Energy Policy, School for International and Public Affairs, Columbia University, New York, NY, Stati Uniti.

Siamo arrivati a un momento allarmante nella storia dell'umanità. Negli ultimi 200 anni, involontariamente, gli esseri umani hanno gravemente alterato il nostro ecosistema globale a causa delle emissioni incontrollate di gas serra, ciò che Roger Revelle e Hans Suess hanno definito un imponente esperimento geofisico non pianificato (Revelle e Suess, 1957).

In modo forse ancora più audace, negli ultimi 10 anni abbiamo sviluppato soluzioni sia per fermare l'esperimento, sia per annullarne gli effetti.

Per la precisione, abbiamo sviluppato abbastanza tecnologie e imparato abbastanza attraverso la ricerca scientifica per rimuovere i gas dall'atmosfera e dagli oceani, tecniche note come CDR, carbon dioxide removal, ovvero rimozione di biossido di

carbonio (National Academies of Science Engineering and Medicine, 2018). Gli approcci tecnologici alla CDR comprendono la rimozione della CO₂ direttamente dall'aria (Ishimoto et al., 2017; Sandalow et al., 2018), l'erosione accelerata delle rocce (Schuiling e Krijgsman, 2006) e il sequestro e stoccaggio del carbonio rilasciato dalla produzione di energia da biomasse (BECCS, bioenergy plus carbon capture and storage, Sanchez et al., 2018; Vaughan et al., 2018). Infine, per rimuovere dall'atmosfera e dagli oceani la quantità di carbonio correlata alla combustione, occorre effettuare una rimozione della CO₂ che si aggiunga alla massima riduzione delle emissioni di gas serra ottenibile mediante le tecnologie convenzionali di mitigazione del cambiamento climatico, come l'ap-

plicazione di misure riguardanti l'efficienza e il risparmio energetico, o l'utilizzo di fonti energetiche a emissioni di carbonio quasi nulle come solare, eolico o nucleare (Smith e Friedmann, 2017). Insieme, la mitigazione tradizionale e la CDR possono portare ad azzerare le emissioni nette di gas serra e, successivamente, a un totale netto negativo di emissioni. Per ottenere questo obiettivo occorreranno sia approcci basati su processi naturali come il ripristino degli ecosistemi e la riforestazione di grandi aree (Griscom et al., 2017), sia l'impiego di soluzioni basate su processi tecnologici che hanno il vantaggio di permettere drammatici miglioramenti nei tassi di rimozione rispetto ai sistemi naturali e con ingombri e occupazione di suolo più contenuti – due cose di grande valore in un sistema non illimitato come il pianeta.

Recenti studi hanno sottolineato sia la grande dimensione del compito, sia la rapidità necessaria per arrivare a una rimozione del carbonio e a emissioni negative (Fuss et al., 2014). Le stime per il tasso di CDR necessario vanno da 10 a 20 Gt/anno entro la fine del secolo, a molte gigatonnellate entro la metà del secolo (Gasser et al., 2015; Fuss et al., 2018). Il “Rapporto 1,5°” dell'IPCC (IPCC, 2018) propone una rimozione globale cumulata di CO₂ entro la fine del secolo in un ampio intervallo, compreso tra 100 e 1.000 Gt, in aggiunta alla completa mitigazione delle emissioni di tutti i settori economici per raggiungere una riduzione dell'85% delle emissioni entro il 2050, un quantitativo considerevolmente superiore alle attuali emissioni di tutto il settore della produzione di energia.

Raggiungere questo obiettivo richiederà enormi somme di denaro e una sostanziale collaborazione tra esperti che normalmente non lavorano insieme, ad esempio tecnologi, operatori finanziari e autorità di governo, ognuno dei quali vede il proprio ruolo e la propria missione in maniera settoriale e diversa. È necessario che le comunità scientifiche, ambientaliste e politiche evitino atteggiamenti di sufficienza o di altezzosa indifferenza, considerato il livello di difficoltà, i costi e la loro influenza sulle grandi sfide in cui l'umanità è impegnata. Due atteggiamenti sono dunque necessari simultaneamente: ambizione e umiltà.

La dura aritmetica dei cambiamenti climatici pretende infatti un'ambizione senza precedenti e una reazione straordinaria, che richiede innovazione, ricerca e investimenti in molti nuovi campi della conoscenza (Carbon 180, 2018). Ma il compito trascende i meri tecnicismi, poiché richiede il rag-

giungimento di importanti traguardi in ambiti della conoscenza che ancora oggi molti scienziati e ingegneri comprendono solo approssimativamente. Nello specifico spiccano quattro ambiti: la definizione e l'implementazione di un quadro legislativo, la comprensione delle potenzialità di specifici mercati per prodotti e servizi, il project financing e l'accettazione sociale. Si tratta di dimensioni aggiuntive che dovrebbero suggerire umiltà e (idealmente) ulteriore ambizione, data la rilevanza del compito da affrontare.

I LIMITI DELLA MAGIA

Nel suo libro “Il mago e il profeta”, Mann (2018) descrive due approcci alla sfida del ripristino dell'equilibrio tra uomo e natura, e due individui che impersonano i due approcci. I maghi sono innovatori (come Norm Borlaug, l'inventore del grano nano), e inclini alle soluzioni tecnologiche. I profeti sono conservatori (come William Vogt, fondatore dell'ambientalismo moderno) e sono inclini alle soluzioni sociali (per esempio alle legislazioni che indirizzano i comportamenti individuali).

Mann sostiene che “maghi e profeti” sono rappresentativi di due approcci differenti, categorizzabili come “clan”, gruppi sociali solitamente con visioni del mondo e scale di valori molto diverse. Comprendere il quadro dei valori di riferimento dei due gruppi è essenziale per riconoscere la difficoltà del compito di un ripristino climatico e dell'uso estensivo della CDR. Ognuno dei due “clan”, maghi e profeti, pensa di avere ragione, crede nei fatti che supportano la propria tesi, e ritiene che l'altro clan sia ingenuo, dissennato, e incauto. Nonostante possano avere obiettivi comuni, a volte maghi e profeti dissentono profondamente sui metodi e considerano con disprezzo l'altro clan.

Il successo però richiederà misure straordinarie, alle quali dovranno collaborare entrambi i clan. L'entità della rimozione di CO₂ su vasta scala e lo sforzo per conseguire il ripristino climatico sono infatti spaventosi.

- *Zero netto di emissioni entro il 2050*: Un risultato assodato condiviso da molti gruppi di ricerca che sviluppano modelli di valutazione integrati è che una traiettoria per la stabilizzazione climatica con un incremento massimo di 2° C richieda di conseguire lo zero netto di emissioni entro la metà del secolo. Raggiungere un risultato così straordinario e senza precedenti richiederà un completo riassetto dei riferi-

menti finanziari ed economici dell'industria energetica e dell'industria pesante, nonché miglioramenti radicali nei sistemi di trasporto e nell'efficienza energetica per gli utilizzatori finali, con un immenso dispiegamento di capitali (IEA, 2018). Sfortunatamente il lungo tempo di permanenza della CO₂ in atmosfera e l'aumento graduale della temperatura degli oceani rende questo risultato insufficiente per evitare i peggiori impatti dei cambiamenti climatici (IPCC, 2018).

- *Un trilione di tonnellate*: Il "Rapporto 1,5° C", cui si è accennato in precedenza, stima che per stabilizzare le temperature globali a questo obiettivo entro la fine del secolo dovrà essere rimossa dall'atmosfera e dagli oceani una quantità di CO₂ compresa tra 100 e 1.000 miliardi di tonnellate (Gt). I serbatoi di assorbimento naturale esistenti non hanno un volume o un tasso di assorbimento tali da conseguire questo risultato senza un contestuale incremento di CDR con mezzi tecnologici (Smith et al., 2016; National Academies of Science Engineering and Medicine, 2018).
- *Ripristino del clima*: Nell'Enciclica *Laudato si*, Papa Francesco (2015) sostiene che la responsabilità morale della gestione climatica si estende oltre l'abbattimento delle emissioni e la mitigazione. Per ridurre la sofferenza umana e minimizzare i danni all'ecosistema globale, l'umanità deve tentare di ripristinare il clima il più possibile, il che richiede l'applicazione sia di capacità tecniche che di sensibilità morale – un'argomentazione a favore della CDR accelerata mediante sistemi tecnologici. In altre parole, la definizione di "ripristino del clima" può far riferimento a diverse condizioni, quali, per esempio, un semplice ritorno ai livelli preindustriali di CO₂ in atmosfera, oppure la ricostruzione dell'albedo superficiale o il ripristino del livello del mare mediante la ricostituzione dei volumi dei ghiacci continentali. Persino in questo caso, si perderanno o saranno irrimediabilmente danneggiati alcuni ecosistemi e alcune specie, il che renderà prepotentemente necessaria e urgente una risposta alla questione di quale stato di ripristino sia sufficiente o necessario.
- *Ogni fallimento impone più CDR per avere successo*: Attualmente, l'economia globale non sta seguendo una traiettoria che conduca al raggiungimento degli obiettivi sopra descritti. Se la mitigazione venisse rallentata per qualsiasi motivo (per esempio la complessità tecnica o la

mancanza di investimenti), o se gli impatti climatici accelerassero e innescassero un'ulteriore accelerazione all'incremento della temperatura (per esempio un rapido collasso dei ghiacci polari che riducesse l'albedo o temperature elevate che farebbero aumentare drasticamente l'impatto degli incendi boschivi), le valutazioni quantitative dei modelli climatici indicano che sarebbe necessario incrementare gli interventi di CDR, in aggiunta all'enorme sforzo richiesto a scala globale. Ci sarebbe anche da porsi la domanda sul ruolo potenziale della gestione della radiazione solare e della sua potenziale relazione e interazione con la CDR – un argomento non discusso in questa sede.

Il successo tecnico è necessario, ma insufficiente per raggiungere la stabilizzazione del clima globale. Innanzitutto, il successo tecnico (mediante investimenti governativi, di imprese private o filantropici) diminuirebbe lo sforzo finanziario e faciliterebbe l'attuazione delle politiche, dal momento che il peso dei costi per la comunità e il livello di alterazione dell'esistente verrebbero ridotti. La sola riduzione dei costi, però, non potrà bastare per liberare risorse necessarie per l'attuazione della CDR. Rimuovere la CO₂ dall'aria e dagli oceani su una scala di molte Gt richiede la creazione di nuovi mercati, trilioni di dollari di investimenti e una mobilitazione globale (Smith e Friedmann, 2017; Sandalow et al., 2018). Interventi a livello politico, di mercato e una accettazione sociale diffusa di tali sforzi sono componenti indispensabili per raggiungere una stabilizzazione che utilizzi anche tecnologie CDR.

LO SPAZIO IN CUI SI REALIZZA

Oggi il supporto politico per gli approcci che impiegano le tecnologie CDR è sorprendentemente solido ed evoluto. Gli Stati Uniti vantano il maggior supporto grazie all'approvazione nel 2018 del *FUTURE Act*, che ha ampliato ed emendato una piccola detrazione fiscale esistente per il sequestro e lo stoccaggio della CO₂. Gli emendamenti, tra le altre modifiche, hanno incluso esplicitamente la rimozione diretta dall'atmosfera (Energy Futures Initiative, 2018). Questa politica è stata la prima a dare un valore approvato da un governo alla CO₂ rimossa dall'aria sotto forma di detrazione fiscale trasferibile. Inoltre, lo Stato della California possiede un meccanismo separato nella forma del *Low Carbon Fuel Standard*, convertito in legge nel

2006, emendato poi nel 2018 per includere due disposizioni relative alla rimozione diretta dall'aria (California Air Resource Board, 2018). La prima ha stabilito che i carburanti sintetici prodotti con CO₂ estratta dall'aria potevano essere riconosciuti come carburanti innovativi al fine dell'ottenimento di crediti di carbonio (in senso stretto non si tratta di CDR). La seconda ha permesso a qualsiasi impianto che estrae CO₂ dall'aria e la immagazzina in modo permanente *in qualsiasi parte del mondo* di avere diritto a crediti di carbonio. Queste politiche hanno creato negli Stati Uniti nuovi mercati in rapida espansione per la CDR.

Le politiche di mercato possono essere e sono già state rafforzate da un ulteriore supporto politico. Per esempio, i governi di Gran Bretagna e Giappone hanno creato un programma specifico di ricerca e sviluppo per sostenere lo sviluppo di tecnologie di CDR. Negli Stati Uniti diversi governi statali stanno prendendo in considerazione la creazione di legislazioni "buy clean", che danno alle agenzie governative l'obbligo o la facoltà di acquistare prodotti a basso contenuto di carbonio (definiti mediante l'analisi del ciclo di vita). Alcune normative proposte richiedono esplicitamente agli stati di comprare una percentuale di carburanti o materiali prodotti con CO₂ rimossa dall'aria. Se diventassero obblighi di legge, la domanda creerebbe un mercato, stimolerebbe gli investimenti e fornirebbe nuovi incentivi a innovatori, investitori e imprenditori.

Nonostante i recenti progressi, la maggior parte delle nazioni non ha tuttavia messo in campo le iniziative politiche necessarie per sviluppare soluzioni tecnologiche per la CDR. Un punto critico fondamentale è l'assenza di un mercato adeguato per i servizi CDR, necessario per pagare i tecnici o le aziende che li assumono. Altre questioni basilari rimaste irrisolte nell'indefinitezza di questo mercato sono: chi sostiene i costi (per esempio contribuenti, utenti o consumatori) e come (per esempio: tramite appalti governativi diretti, sistemi di scambio, o tariffe di riacquisto su beni e servizi).

Significativamente, questa mancanza di indicazioni, la cui definizione spetterebbe all'ambito della politica, non è dovuta solitamente a una carenza di informazione, considerato che molti decisori politici hanno ricevuto informative su CCS, BECCS, CO₂U (riutilizzo di CO₂) e persino riguardo alla rimozione diretta dall'aria, e sono anche informati sulla loro fattibilità e sull'importanza dell'argomento. La mancanza di meccanismi politici riflette in gran parte un'incapacità di scienziati, inge-

gnieri e professionisti di inquadrare il supporto politico in un contesto che i politici possano usare. In generale il coinvolgimento è minimo, e la comunicazione è spesso sovraccarica di termini tecnici ed eccessivamente complessa. In alcuni casi, i fattori che gli scienziati e gli ingegneri ritengono vincenti politicamente (per esempio mostrare leadership, creare occupazione, mantenere la competitività) non sono di interesse per politiche specifiche o non si differenziano da richieste che arrivano da altri settori (lavoro, giustizia, sanità). La comunità degli innovatori e dei professionisti deve migliorare il modo con cui si confronta con i decisori politici se vuole creare, espandere o diffondere le soluzioni tecnologiche nei mercati.

I SOLDI DEGLI ALTRI

Coloro che vogliono utilizzare approcci basati sulle tecnologie CDR devono riconoscere che alla fine questo sarà realizzato attraverso meccanismi di mercato. È improbabile che i governi si facciano completamente carico dei costi mediante finanziamenti pubblici. Gli investitori privati e le aziende partecipate da pubblico e privati forniranno soluzioni a questi mercati in evoluzione, mettendosi in competizione per le quote di mercato. Il modello di business potrebbe essere simile a quello dei servizi forniti dalle aziende di gestione dei rifiuti e di controllo dell'inquinamento: attenendosi alle autorizzazioni e alle normative, le aziende potrebbero offrire servizi di CDR applicando specifiche tariffe.

Fortunatamente, il desiderio di "investimenti di impatto", intendendo con ciò strumenti di investimento che recano benefici sociali in generale e benefici ambientali nello specifico, è sostanzialmente aumentato negli ultimi anni (USSIF, 2018). Fondi pensionistici, fondi di investimento, hedge fund e investimenti filantropici hanno incrementato sostanzialmente la quantità di denaro destinata e hanno espanso la gamma di progetti considerati (Global Impact Investing Network, 2016). In generale, questi investitori cercano ancora ritorni significativi sugli investimenti a breve termine (3-5 anni) e alcuni investitori, come i fondi pensionistici, hanno responsabilità fiduciarie stabili e ben definite. Molti investitori richiedono ritorni cospicui (10-30%) per continuare a investire, e hanno a disposizione per l'investimento molte opzioni in competizione tra loro. In questo modo la maggior parte degli investimenti sono rimasti in campi come biomedicina, l'alta tecnologia o le infrastrutture convenzionali. Alcuni investimenti in energie pu-

lite sono stati indirizzati solo verso ambiti piuttosto sicuri (per esempio dividendi garantiti da investimenti in sistemi di produzione di energia rinnovabile), mentre altre opportunità come l'efficienza o l'energia geotermica hanno suscitato molto meno interesse (Reicher et al., 2017).

Per questi e altri motivi, nonostante l'interesse verso la CDR sia effettivamente aumentato e nonostante l'entusiasmo per gli investimenti di impatto, la sfida principale per la CDR rimane quella di ricevere grandi flussi di capitali. Il principale di questi motivi è stato discusso sopra, e cioè la mancanza di un mercato che valorizzi i servizi di CDR. Però un adeguato segnale di mercato o un prezzo di carbonio equivalente non sono necessariamente sufficienti. Le tecnologie e i mercati sono eterogenei e complessi, il che rende difficile per i potenziali investitori capire i potenziali rischi tecnici e di mercato. Superare queste sfide richiede pazienza e dedizione, e potrebbe richiedere un ulteriore supporto politico per stimolare investimenti su larga scala e un flusso di capitali nella CDR tecnologica.

A TUTTA FORZA

Neppure il supporto politico e investimenti consistenti garantiscono necessariamente l'impiego o la diffusione di una tecnologia. La rimozione su larga scala della CO₂ richiederà accettazione e supporto popolare, principalmente a causa della scala di realizzazione e dell'entità dei capitali richiesti. Le innovazioni, persino quelle che hanno drasticamente migliorato la qualità della vita delle persone, hanno dovuto fronteggiare una notevole opposizione nella popolazione e nei governi (Juma, 2017). Il caso della CDR è più complicato, dal momento che reca pochi benefici immediati e tangibili ai consumatori o ai cittadini. Così, l'accettazione e il diritto ad agire possono giocare un ruolo sproporzionato nel suo sviluppo.

La comunità scientifica della CDR ignora il problema dell'accettazione pubblica, a suo rischio. Per esempio, molti gruppi di ricerca stanno cercando metodi per aumentare l'assorbimento del suolo, la resa e la performance della BECCS, e la mineralizzazione mediante manipolazioni genetiche di consorzi microbici o specie vegetali. La reazione della popolazione agli OGM è stata decisamente varia (Lucht, 2015) e in alcuni casi ha condotto a divieti e a normative limitanti. Analogamente, la risposta pubblica agli esperimenti di fertilizzazione degli oceani e agli studi sulla gestione della ra-

diazione solare è stata forte e in gran parte negativa (Abate e Greenle, 2010; Cummins et al., 2017), complicando molto i futuri tentativi di impiego di questi approcci.

Un importante caso di accettazione sociale riguarda due progetti geologici di stoccaggio del carbonio in Olanda e in Germania: Barendrecht e Schwarze Pumpe. Questi due progetti, uno riguardante una raffineria di gas e l'altro un impianto industriale, avevano lo scopo di essere precursori dell'impiego su larga scala di CCS in Europa e di creare nuove tecnologie (per esempio i sistemi di combustione del carbone mediante ossigeno puro), fornire una leadership internazionale, mantenere posti di lavoro e creare prodotti verdi per l'esportazione. Entrambi erano focalizzati sullo stoccaggio della CO₂ in mare vicino alla riva, e questo è diventato il fulcro dell'opposizione locale. Lo scarso coinvolgimento del pubblico nel progetto di Barendrecht ha rafforzato l'opposizione, e alla fine il progetto è stato accantonato, portando a ulteriori pressioni politiche e al collasso finale anche del progetto Schwarze Pumpe (Lockwood, 2017).

Mentre ci sono molti casi in cui un coinvolgimento pubblico insufficiente ha portato al fallimento, ce ne sono altrettanti in cui il coinvolgimento pubblico è stato positivo e ha portato al successo dell'iniziativa (Forbes et al., 2010). In diversi settori e progetti, le lezioni apprese dall'esperienza sono diventate strategie per il coinvolgimento pubblico (Lockwood, 2017). In questi casi, osservatori tecnici neutrali (per esempio provenienti dalle università o da centri di ricerca governativi) hanno un ruolo fondamentale nel guadagnare la fiducia dei cittadini. Va osservato che il coinvolgimento precoce, l'ascolto e l'attenzione alle preoccupazioni dei cittadini, anche attuando processi per il coinvolgimento pubblico, si sono dimostrati componenti importanti per il successo delle iniziative.

Tutti gli approcci basati sulle tecnologie CDR sono fondamentalmente nuovi e portano a domande da parte di tutta la popolazione sui costi, sul valore pubblico potenziale, sui rischi e la sicurezza locale, e, infine, preoccupazioni di carattere etico. È importante coinvolgere in ambito pubblico figure diverse, come scienziati, professionisti e ingegneri con "due orecchie e una bocca" [cit. Epitteto: "Dio ci ha dato due orecchie e una bocca per ascoltare il doppio di quanto parliamo" *ndT*], in modo da affrontare al meglio le questioni sollevate nella discussione pubblica.

CONCLUSIONI: PERCHÉ FACCIAMO CIÒ CHE FACCIAMO

Nell'esaminare il lavoro che ci attende, è utile ricordare che il caso della CDR è estremamente urgente, fondato su dati scientifici incontrovertibili, ma che potrebbero apparire scoraggianti. Facciamo ciò che facciamo innanzitutto perché è necessario e perché diamo valore al nostro progresso, alla civiltà e a una prospettiva rassicurante per gli ecosistemi. Sono motivazioni che restano vere indipendentemente da quanto possa essere difficile il percorso o da quanto siano problematici gli aspetti sociali dell'impresa. Può essere sgradevole pensare che si debba "ripulire" il nostro spazio comune, ma in definitiva è necessario estendere questo approccio anche al ripristino del clima.

In questo contesto, è necessario in egual misura il coinvolgimento di politica, finanza, mercati e società civile. Il lavoro di riduzione e inversione delle emissioni di gas serra non è semplice come potrebbe essere lo sviluppo di un prodotto (un microchip più veloce o un nuovo scanner medicale), ma è assai più complesso, trattando un tema drammatico che non solo è globale, ma deve coinvolgere tutta la popolazione.

A questo scopo scienziati e ingegneri coinvolti nelle tecnologie CDR dovrebbero ascoltare attentamente i politici di tutte le parti per comprenderne le necessità e operare in modo coerente con il rapido dispiegamento delle tecnologie CDR. Questo richiede perseveranza, quanto realismo e capacità di posporre una soluzione ottimale a una realizzabile.

Dovranno studiare e arrivare a comprendere le necessità degli investitori e dei business leader. Questo richiederà fiducia e pazienza, e una certa dose di ascolto e silenzio.

Dovranno incontrarsi con soggetti pubblici coinvolti, sospettosi o contrari. Questo richiederà ge-

nerosità di tempo e di spirito, e una volontà di essere sempre positivi.

Dovranno migliorare le loro capacità nel comunicare con gli investitori, i decisori politici, i profani e i media. Riuscire in questo intento richiederà creatività e la volontà di provarci essendo anche disposti a sbagliare.

Poiché la sfida è sia immensa che urgente, è essenziale iniziare subito. Mentre potrebbero esserci opportunità per accelerare in qualche azione cruciale, è più probabile che la maggior parte del lavoro di coinvolgimento sarà lento e laborioso.

Alla fine, comunque, questo fa parte del lavoro necessario per avere successo, ed è richiesto alla nostra comunità. Abbiamo poche scelte – il lavoro è lavoro.

RINGRAZIAMENTI

Grazie a Jennifer Wilcox per avermi incoraggiato a scrivere questo articolo e per la sua assistenza. Grazie a Matt Robinson del CGEP che ha prestato assistenza nell'elaborazione e preparazione di questa visione. Ringraziamo Piera Patrizio e Matt Lucas per le loro revisioni.

L'articolo è la traduzione italiana di "Engineered CO₂ Removal, Climate Restoration and Humility", originariamente pubblicata su *Frontiers in Climate* (26 luglio 2019, vol.1, art. 3), pubblicata con il permesso dell'autore, S. Julio Friedmann. Traduzione di Erminio Cella, Stefano Caserini, Roberto Canziani e Mario Grosso.

This is Italian translation of "Engineered CO₂ Removal, Climate Restoration, and Humility", originally published in Frontiers in Climate (26 July 2019, vol. 1, art. 3). Erminio Cella, Stefano Caserini, Roberto Canziani e Mario Grosso prepared this translation. Permission was granted by S. Julio Friedmann.



Foto di enriquelopezgarre da Pixabay

MILANO SENZA DIESEL: QUANTO MIGLIOREREBBE LA QUALITÀ DELL'ARIA?

Camillo Silibello^{1,*}, Alessandro Nanni¹, Nicola Pepe¹, Giuseppe Calori¹, Giuseppe Brusasca¹

¹Arianet S.R.L.

Sommario – Il settore “Trasporto su strada” rappresenta il 74% delle emissioni di ossidi di azoto che insistono sul Comune di Milano e il 93% di tali emissioni è prodotto dai veicoli alimentati a gasolio. Al fine di stimare l’impatto delle emissioni di tali veicoli circolanti nell’area urbana milanese sono state condotte simulazioni mediante l’utilizzo di un sistema modellistico che tiene conto della dispersione degli inquinanti emessi e delle trasformazioni chimiche che avvengono in atmosfera in funzione della meteorologia. Le emissioni derivanti dal traffico stradale sono state stimate mediante l’utilizzo della metodologia europea COPERT 5 e dei dati di traffico forniti dall’Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio (AMAT) di Milano. Sono state quindi condotte due simulazioni corrispondenti al quadro emissivo “ex-ante” del 2017 ed escludendo da esso le emissioni derivanti da tutti i veicoli alimentati a gasolio circolanti sulla rete urbana del Comune di Milano (scenario “NO Diesel”). In tale scenario i mezzi pubblici ed i veicoli circolanti sulle autostrade e tangenziali sono stati mantenuti invariati. La simulazione dello scenario “ex-ante” mostra concentrazioni medie annuali di NO₂ superiori al valore limite annuale (40 µg m⁻³) in larga parte del territorio comunale (circa il 75%) e valori più elevati lungo le circonvallazioni a nord del centro cittadino. Nello scenario “NO Diesel” permangono valori di NO₂ superiori al valore limite solo lungo le tangenziali a est e a nord dell’area urbana. A partire da tali risultati è stato infine stimato l’aumento percentuale della porzione di territorio milanese in cui è rispettato il limite di legge per il biossido di azoto sulle medie annuali a fronte di limitazioni della circolazione per i veicoli alimentati a gasolio distinti per categoria Euro.

Parole chiave: emissioni in atmosfera, traffico stradale, veicoli alimentati a gasolio, modelli di dispersione, scenari emissivi.

MILAN WITHOUT DIESEL: HOW WOULD THE AIR QUALITY IMPROVE?

Abstract – The “Road transport” sector represents 74% of the nitrogen oxides emissions in the Municipality of Milan, with 93% of these emissions produced by diesel-powered vehicles. To estimate the impact of the emissions from these vehicles circulating in the urban area, simulations were conducted using a complex modelling system that takes into account the dispersion of the pollutants emitted and the chemical transformations which take place in the atmosphere according to meteorology. Road traffic

emissions over Milan urban area were estimated by using the official European COPERT 5 methodology and the traffic data provided by the Environment and Territory Mobility Agency (AMAT) of the Municipality of Milan. Two simulations were therefore carried out corresponding to the 2017 “ex-ante” emission framework and then excluding from it the emissions deriving from all diesel-powered vehicles circulating on the municipal road network of Milan (scenario “NO Diesel”). In this scenario, emissions from public transport and vehicles circulating on motorways and ring roads remained unchanged. The results from the “ex-ante” scenario show average annual NO₂ concentrations above the annual limit value (40 µg m⁻³) in a major part of the urban area (about 75%) and higher values along the ring roads north of the city centre. In the “NO Diesel” scenario, NO₂ concentrations above the limit value remain only along the ring roads to the east and north of the urban area. Starting from these results, the percentage increase in the portion of the Milan territory that would respect the limit values was also estimated for traffic restrictions progressively involving increasing categories of diesel-powered vehicles.

Keywords: emissions inventory, vehicular traffic, diesel fuelled vehicles, dispersion models, emission scenarios.

Ricevuto il 19-3-2020. Correzioni richieste il 13-4-2020. Accettazione il 14-5-2020.

1. INTRODUZIONE

Nei motori diesel la miscela aria-carburante ha sempre una dosatura magra, ovvero presenta una quantità di aria (e quindi di ossigeno e azoto) in eccesso, che determina la formazione di considerevoli quantità di ossidi di azoto. Per tale ragione, i veicoli alimentati a gasolio sono ritenuti i maggiori responsabili degli elevati livelli di NO₂ all’interno delle aree urbane e, conseguentemente, sono stati introdotti divieti alla loro circolazione. Ad esempio la corte federale di Lipsia ha stabilito, nel febbraio 2018, che le città tedesche possono ricorrere alla misura del divieto di circolazione delle auto a gasolio e, il 2 agosto 2018, la Giunta del Comune di Milano ha approvato il provvedimento che istituisce l’Area B, una zona che si estende sino quasi ai confini della città, ovvero il 72% dell’intero territorio comunale, che include misure specifiche per i veicoli diesel. Dal 21 gennaio

* Per contatti: Via Gian Giacomo Gilino, 9 – 20128 Milano.
Tel +39-022700725513 / 0227080920; fax 02 25708084.
c.silibello@aria-net.it.

2019, è infatti vietato l'ingresso in tale area ai veicoli benzina Euro 0 e diesel Euro 0, 1, 2, 3 e progressivamente, per step successivi fino al 2030, a tutti i veicoli diesel (fino all'Euro 6d).

Il biossido di azoto è un inquinante a prevalente componente secondaria, in quanto è il prodotto dell'ossidazione del monossido di azoto (NO) in atmosfera; solo in proporzione minore viene emesso direttamente. La principale fonte di emissione degli ossidi di azoto ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) in area urbana è il traffico veicolare; altre fonti sono gli impianti di riscaldamento civili e industriali, le centrali per la produzione di energia e un ampio spettro di processi industriali.

Con l'emanazione del D.Lgs 13/08/2010 n. 155, il legislatore ha recepito la Direttiva Europea relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa (2008/50/CE) che fissa a $40 \mu\text{g m}^{-3}$ il limite di legge relativo alla concentrazione media annuale di NO_2 . Poiché tale limite viene superato in diverse zone della città di Milano, l'associazione "Cittadini per l'aria" ha promosso uno studio modellistico volto a stimare l'impatto delle emissioni di veicoli alimentati a gasolio circolanti nell'area urbana milanese sulle concentrazioni medie annuali di NO_2 . L'associazione svolge diverse azioni di scienza partecipata tra le quali la campagna "NO₂, No grazie!"¹ effettuata dai cittadini dall'11 febbraio all'11 marzo 2017 a Milano e in altri comuni dell'area metropolitana. Nel corso di tale campagna sono stati dislocate 219 fiale assorbenti, per il campionamento così detto passivo, a Milano e in altri comuni dell'area metropolitana (Paderno Dugnano, Gallarate, Novedrate, Desio, Caponago, Carugate, Cernusco sul Naviglio, San Donato Milanese, Pregnana, San Giuliano Milanese, Monza). Il campionamento passivo è una tecnica di monitoraggio così definita perché la cattura dell'inquinante (in questo caso del gas NO_2) avviene per diffusione molecolare della sostanza attraverso il campionatore e non richiede quindi l'impiego di un dispositivo (es. di una pompa) per l'aspirazione dell'aria². Le fiale sono state poste davanti a casa, o a scuola, o al luogo di lavoro, su un palo a un'altezza di 2.5/3 metri, e sono state esposte all'aria per 1 mese (12 Febbraio-12 Marzo 2017) in diversi punti dell'area metropolitana di Milano. Il risultato del

campionamento è pertanto una misura integrata della concentrazione media di NO_2 nell'aria relativa a tutto il periodo nei diversi punti di misura. La disponibilità di tali informazioni sperimentali, unitamente a quelle fornite dalla rete di monitoraggio gestite da ARPA Lombardia, ha suggerito di considerare il periodo di campionamento della campagna come periodo di riferimento per le simulazioni modellistiche.

La valutazione del contributo dei veicoli alimentati a gasolio sulle concentrazioni di NO_2 nell'area urbana milanese è stata effettuata mediante l'utilizzo del modello di chimica dell'atmosfera FARM e la tecnica di "zero-out modelling". Tale approccio si basa sull'analisi degli effetti di perturbazioni delle emissioni sui livelli di un determinato inquinante e nel caso in esame fornisce risposte alle seguenti domande:

- quali sarebbero i livelli di NO_2 nell'area milanese in assenza di emissioni derivanti da veicoli alimentati a gasolio all'interno della stessa area?
- a quali categorie di veicoli alimentati a gasolio è necessario estendere il divieto alla circolazione all'interno dell'area milanese al fine di rientrare nel valore limite relativo alla concentrazione media annuale?

2. MATERIALI E METODI

2.1. Area di studio

Le simulazioni modellistiche sono state effettuate considerando un dominio di calcolo che include il Comune di Milano e si estende su una superficie di $35 \times 35 \text{ km}^2$ (Figura 1). La griglia di calcolo utilizzata per la simulazione meteorologica e di dispersione è suddivisa in 70×70 celle, lungo le direzioni est-ovest e sud-nord, aventi una risoluzione orizzontale di 500 m. La scelta di tale dominio risponde alle necessità di considerare le emissioni prodotte sia dalla città di Milano sia delle aree urbane circostanti, maggiormente presenti a nord e a est, che influenzano i livelli di NO_2 rilevati a Milano a seguito di processi di trasporto e dispersione atmosferica.

2.2. Emissioni

Le emissioni derivanti dal traffico veicolare nell'area urbana milanese sono state stimate secondo la metodologia di riferimento europea a partire da dati di traffico di dettaglio forniti dall'Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio (AMAT) del Comune di Mi-

¹ <https://www.cittadiniperlaria.org/nasce-la-prima-mappa-dell'inquinamento-da-no2-dell'aria-di-milano-creata-dai-cittadini-per-i-cittadini-2-2/>

² <https://www.cittadiniperlaria.org/campagna-no2-no-grazie-un-approfondimento-scientifico/>

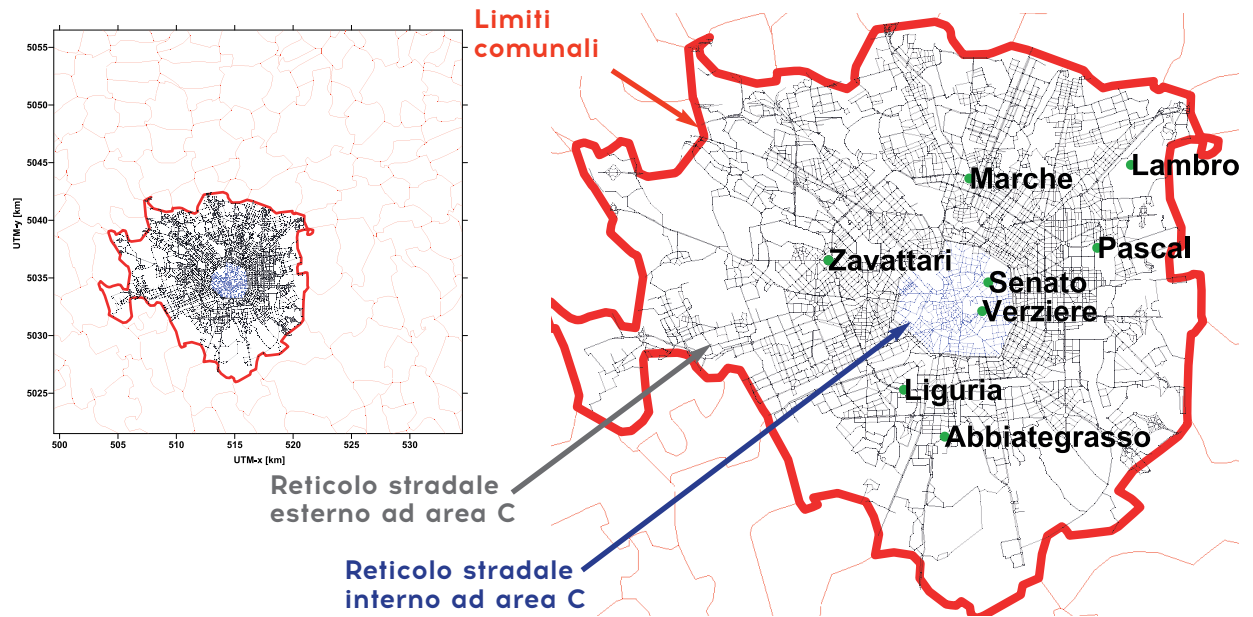


Figura 1 – Dominio di calcolo utilizzato per le simulazioni modellistiche (proiezione UTM fuso 32). Sono riportati i limiti dei comuni inclusi nel dominio (in rosso), il reticolo stradale utilizzato per la stima delle emissioni stradali nel Comune di Milano (colore blu: interno ad area C, colore nero: esterno ad area C) e le stazioni di misura ARPA utilizzate nello studio (colore verde)

lano. Le emissioni relative a tutte le altre tipologie di sorgenti ed al resto dell'area di studio utilizzate in input alle simulazioni sono state predisposte a partire dall'inventario delle emissioni in atmosfera INEMAR (INventario EMissioni ARia) realizzato da ARPA Lombardia per conto di Regione Lombardia, riferito all'anno 2014 (<http://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/Inemar/HomeLombardia>).

2.2.1. Inventario regionale INEMAR

INEMAR è uno strumento progettato per stimare le emissioni degli inquinanti aeriformi prodotte da diverse attività e tipo di combustibile. Le

informazioni di base sono costituite da indicatori di attività (consumo di combustibile, consumo di vernici, quantità incenerita, e in generale qualsiasi parametro che traccia l'attività responsabile dell'emissione), fattori di emissione (rapporto tra l'emissione di un inquinante da una data sorgente emissiva e l'unità di indicatore della sorgente stessa) e dati statistici necessari per la disaggregazione spaziale e temporale delle emissioni. I dati contenuti nell'inventario sono suddivisi secondo una struttura gerarchica che comprende 11 macrosettori, 56 settori e 360 categorie (attività). In Figura 2 si riporta, per i comuni

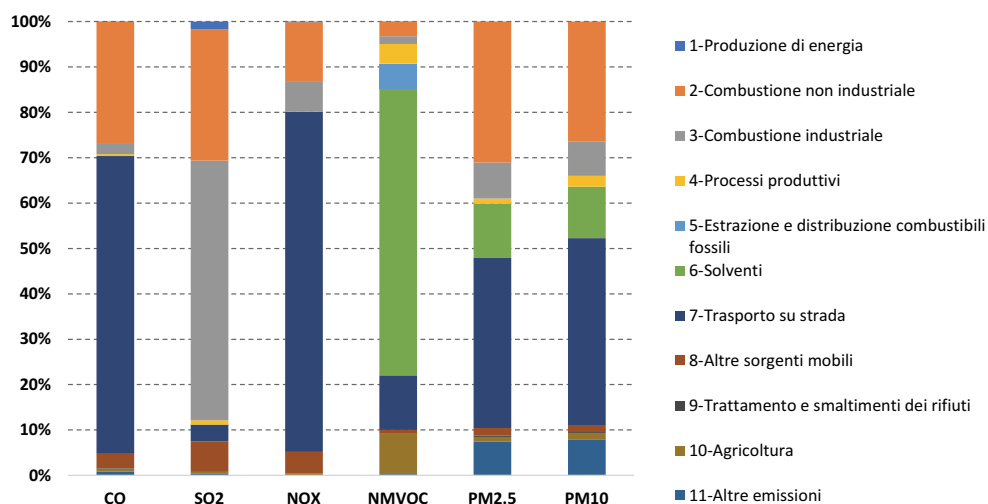


Figura 2 – Distribuzione percentuale dei contributi dei diversi macrosettori per i comuni che ricadono nel dominio di calcolo

che ricadono nel dominio di calcolo definito in Figura 1, la distribuzione percentuale dei contributi degli 11 macrosettori relativi ai principali inquinanti: CO, SO₂, NO_x, NMVOC (Composti Organici Volatili Non Metanici), PM_{2,5} e PM₁₀ (le componenti primarie di tali inquinanti). Tale figura evidenzia le attività potenzialmente più critiche per i diversi inquinanti. Per quanto riguarda particolato, CO e NO_x l'attività con il maggior peso è sicuramente il trasporto su strada; per gli ossidi di azoto questa attività contribuisce per un valore superiore al 70% rispetto alle altre attività che insistono sul territorio. Concentrandosi sul particolato (PM_{2,5} e PM₁₀), il contributo percentuale del traffico diminuisce fino al 40% mentre quello della combustione residenziale e commerciale cresce fino ad arrivare al 30% per il particolato fine. Per quanto riguarda il biossido di zolfo (SO₂), la combustione industriale contribuisce per circa il 60% mentre quella residenziale/commerciale per il 30% del totale emissivo. Per quanto riguarda i NMVOC, il macrosettore solventi è quello predominante con un contributo percentuale superiore al 60%. Una descrizione dettagliata delle emissioni di NO_x nella città di Milano, stimate nell'inventario delle emissioni INEMAR, è riportata nel Materiale Supplementare (1).

2.2.2. Modello di stima delle emissioni da traffico stradale nel Comune di Milano

La stima delle emissioni inquinanti da traffico stradale nel Comune di Milano è stata effettuata mediante il modello TREFIC (road TRaffic Emission Factors Improved Calculator), sviluppato da ARIANET (Nanni *et al.*, 2004) sulla base della metodologia ufficiale Europea COPERT 5 (*copert.emisia.com*, Mellios e Ntziachristos, 2016; Ntziachristos e Boulter, 2016; Ntziachristos e Samaras, 2018) che raccoglie e mantiene aggiornato il database dei fattori d'emissione (valori di emissione per unità di percorrenza), relativi ai singoli veicoli suddivisi per categorie codificate. TREFIC effettua il calcolo delle emissioni sui diversi tratti di una complessa rete stradale sulla base delle seguenti informazioni: lunghezza degli archi, situazione di traffico (urbana congestionata, urbana non congestionata, extraurbana, autostradale), velocità media di percorrenza e flusso veicolare distinti per macrocategorie e carburante. Il modello permette di distinguere le emissioni allo scarico, evaporative, derivanti dall'usura di pneumatici e freni e prodotte dal transito dei veicoli (abrasione della strada e risollevarimento di polveri). TREFIC è stato quindi applicato al traffico stradale che percorre la rete di Milano, inclusi i tratti di tangenziali e autostrade comprese tra i confini comunali. Nella Figura 3 sono mostrati i flussi di traffico, espressi in ter-



Figura 3 – Grafo stradale considerato per la stima delle emissioni veicolari a scala urbana. Il flusso di traffico del tratto di tangenziale ovest, a sud dello svincolo di Settimo Milanese, è indicato come riferimento ed è espresso come veicoli equivalenti nell'ora di punta del mattino

mini di veicoli equivalenti, simulati da AMAT per l'ora di punta del mattino (dalle ore 8 alle 9) di un giorno ferialo. Il modello utilizzato da AMAT fornisce in particolare le seguenti informazioni:

- flussi veicolari distinti per 4 macrocategorie: auto, moto, commerciali leggeri (LDV – Light-duty Vehicles –, ovvero veicoli merci di lunghezza < di 7,5 m), commerciali pesanti (HDV – Heavy-duty Vehicles –, con lunghezza > 7,5 m);
- velocità medie di deflusso;
- tipologia di strada (urbana o autostrada).

Il modello del traffico di AMAT è basato su misure reali presso alcune sezioni di conteggio della rete stradale e rispecchia dunque anche le limitazioni già esistenti alla circolazione dei HDV.

La ripartizione dei veicoli circolanti sulla rete stradale, distinti per tipologia di alimentazione, motorizzazione e categoria Euro, è stata effettuata sulla base dei dati ACI relativi all'anno 2017 dei veicoli immatricolati nella Provincia di Milano e dei valori di percorrenze medie annuali distinti per categoria Euro (Figura 4). Grazie anche a una percorrenza media annuale superiore mediamente di oltre il 70% rispetto a quella delle autovetture a benzina, le autovetture alimentate a gasolio incidono in modo molto considerevole sulla distribuzione complessiva delle percorrenze nell'area urbana.

Mediante TREFIC è stato quindi possibile stimare le emissioni dei diversi inquinanti che insistono sulla rete stradale del Comune di Milano. Per una verifica di consistenza, tali stime sulla rete sono state confrontate con quelle complessive relative al Comune di Milano contenute nell'inventario INEMAR (Tabella 1). Benché le due metodologie di stima siano differenti, le emissioni stimate da TREFIC e INEMAR risultano paragonabili per gli inquinanti di maggior interesse e attenzione (NO_x e PM). Ciò è dovuto al fatto che entrambe le stime derivano da fattori di emissione COPERT che sono basati su misure effettuate in situazioni di traffico reali, ben più complesse rispetto a quelle standard utilizzate per il controllo all'atto dell'omologazione dei veicoli. Ciò ne garantisce la veridicità anche relativamente allo scandalo "Dieselgate" che ha riguardato la scoperta della manomissione del software dei motori a gasolio in modo da ridurre le emissioni di NO_x in sede di omologazione.

In tale tabella sono mostrate inoltre le emissioni stimate da TREFIC relativamente alla situazione nella quale vengono annullate le emissioni derivanti da tutti i veicoli alimentati a gasolio a eccezione dei bus pubblici (scenario "NO Diesel") e le corrispondenti riduzioni percentuali rispetto allo scenario base. Dall'esame di tale tabella risultano significative riduzioni di emissioni di os-

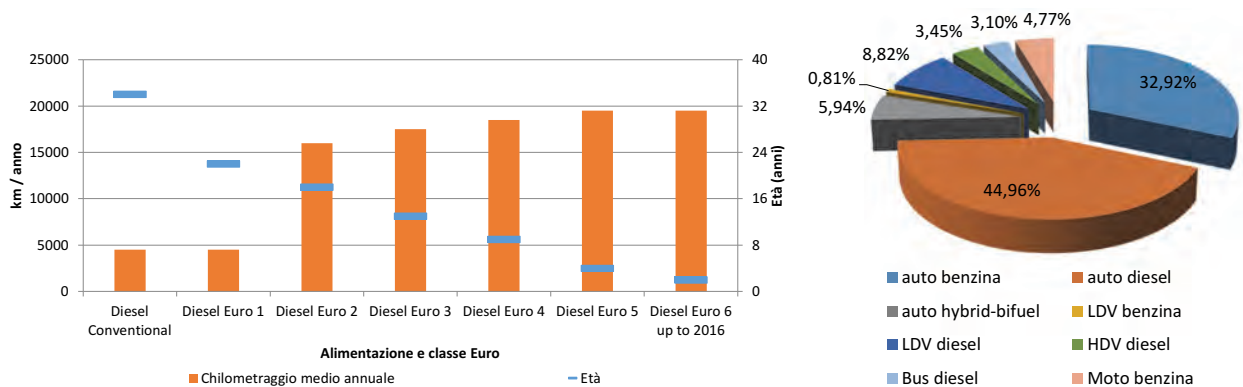


Figura 4 – Sinistra: percorrenze annuali ed età medie di autovetture appartenenti a diverse categorie EURO. Destra: Distribuzione percentuale dei veicoli circolanti a Milano nell'anno 2017

Tabella 1 – Confronto fra le emissioni (t anno⁻¹) del macrosettore 7 (trasporto su strada) relative al Comune di Milano in INEMAR e stimate da TREFIC relative alla situazione 2017 (ex-ante) e allo scenario "NO Diesel"

Modello	CO	NO _x	NH ₃	SO ₂	NMVOC	PM _{2.5}	PM ₁₀
INEMAR	6277	4516	50	8	1755	259	336
TREFIC [ex ante]	9405	4045	35	32	1710	286	413
TREFIC [NO Diesel]	8770(-7%)	1398(-65%)	29(-17%)	17(-47%)	1606(-6%)	124(-57%)	188(-54%)

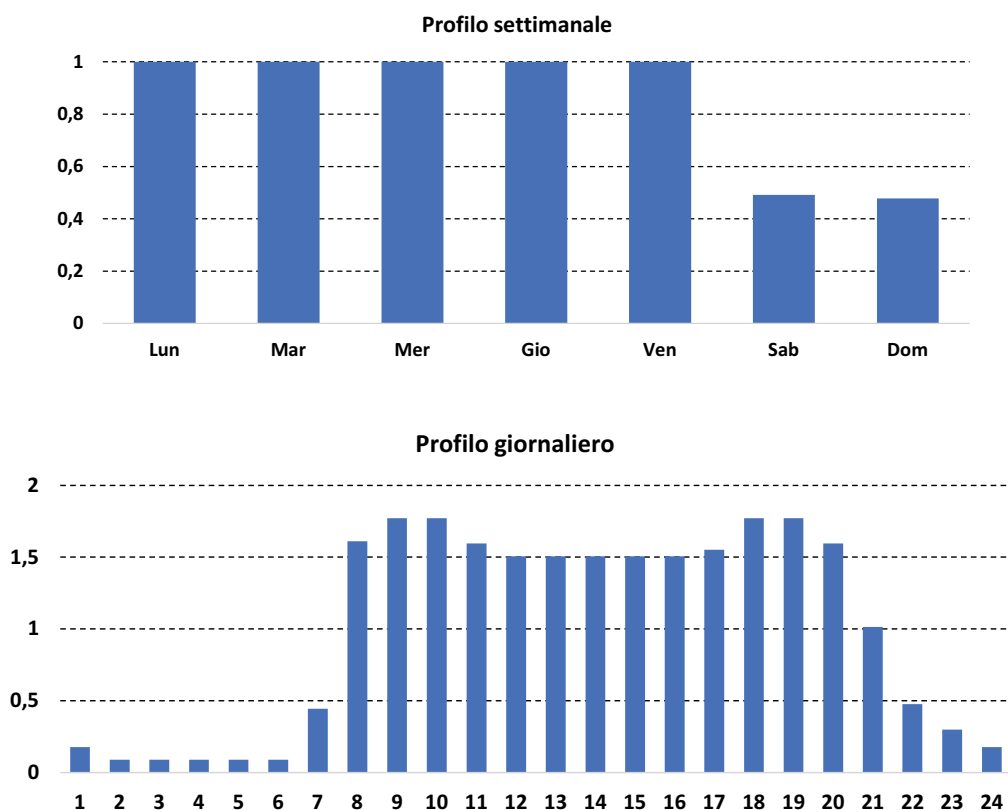


Figura 5 – Profilo settimanale e giornaliero per il traffico del Comune di Milano riferiti al giorno ferial e all'ora di punta

sidi di azoto (pari al 65%), $PM_{2,5}$ (57%) e PM_{10} (54%).

Le emissioni stimate da TREFIC, medie o relative all'ora di punta, analogamente a quelle relative agli altri macrosettori, vengono quindi modulate nel tempo sulla base di profili giornalieri e settimanali al fine di fornire al modello di dispersione emissioni su base oraria. In Figura 5 si riportano i profili utilizzati per il traffico del Comune di Milano. Considerata l'estrema e difficilmente riproducibile eterogeneità delle situazioni di traffico reale sulla rete stradale esaminata, sono stati scelti, in base all'esperienza in studi di settore pregressi, gli stessi profili urbani standard per tutte le strade. In particolare, il profilo settimanale presenta una modulazione uguale per i giorni feriali mentre durante il fine settimana le emissioni da traffico si dimezzano; per quanto riguarda quello giornaliero, i picchi del mattino e del pomeriggio, che scandiscono l'inizio e la fine dell'attività lavorativa, sono identici (pendolarismo perfetto).

La riduzione percentuale delle emissioni di NO_x ottenuta per lo scenario "NO Diesel" (65%) è diversa dal contributo complessivo dei veicoli Diesel sul totale INEMAR delle emissioni (93%). Questa differenza è dovuta a diverse caratteristi-

che delle due basi dati, tra cui: l'anno di riferimento dei due inventari, che porta a una differente vetustà del parco dei circolanti; la frazione di emissioni dei veicoli diesel circolanti sulle autostrade e tangenziali (percorse tra l'altro da una percentuale superiore di veicoli pesanti) che non è stata azzerata nello scenario "NO Diesel"; l'aver considerato nel calcolo qui presentato velocità di percorrenza medie reali (in caso di basse velocità, ovvero flusso interrotto o congestionato, l'emissione di NO_x è notoriamente inferiore rispetto a velocità più vicine a quelle del flusso libero, mentre quelle di CO, per esempio, aumentano).

2.3. Sistema modellistico

La realizzazione delle simulazioni è stata effettuata mediante un sistema modellistico che combina pre/post-processor e modelli, opportunamente integrati tra di loro, per simulare i diversi processi che concorrono a determinare la qualità dell'aria: la distribuzione nello spazio e nel tempo delle emissioni di inquinanti primari (gas e particolato), la loro successiva dispersione in atmosfera da parte del vento e delle condizioni di turbolenza (giorno/notte), le trasformazioni chimiche

che coinvolgono gli inquinanti presenti in atmosfera e che danno luogo alla formazione di inquinanti secondari (es. NO₂, O₃ e particolato secondario) ed i processi di rimozione dovuti alle deposizioni al suolo secche ed umide. Il sistema è basato su modelli tridimensionali in grado di tener conto di tale complessità alle diverse scale spaziali, dalla regionale a quella urbana, considerando periodi sia di breve che di lunga durata (studio di episodi critici/valutazione degli standard di qualità dell'aria).

In particolare, include:

- il modello meteorologico prognostico WRF (Skamarock *et al.*, 2008) per la ricostruzione tridimensionale dei campi meteorologici;
- un modulo per la preparazione dell'input emissivo al modello di dispersione a partire dai dati contenuti nell'inventario delle emissioni INEMAR e prodotti da TREFIC sulla base delle informazioni fornite da AMAT;
- il modello di dispersione e chimica dell'atmosfera FARM (www.farm-model.org, Gariazzo *et al.*, 2007; Silibello *et al.*, 2008; Bessagnet *et al.*, 2016);
- un modulo per la predisposizione delle condizioni iniziali e al contorno (concentrazioni degli inquinanti ai bordi del dominio) a partire dai campi prodotti dal sistema di previsione QualeAria, sviluppato da ARIANET, che produce quotidianamente previsioni di qualità dell'aria a scala europea e nazionale (www.qualearia.it).

3. RISULTATI

Il periodo di riferimento è coinciso con quello durante il quale si è svolta l'azione di scienza partecipata "NO₂, No grazie!", promossa dall'Associazione "Cittadini per l'aria", ovvero dal 11/02/2017 al 11/03/2017. Sono state effettuate quindi simulazioni modellistiche considerando due scenari emissivi:

- Scenario "ex ante", corrispondente alla situazione nella quale sono considerate le limitazioni vigenti all'anno 2017;
- Scenario "NO Diesel", sempre con anno di riferimento il 2017 ma ipotizzando il blocco di tutti i veicoli diesel circolanti nell'area urbana di Milano, ad eccezione delle autostrade mantenute inalterate. Per completezza, questo blocco ha compreso anche i LDV nonostante, allo stato attuale, sul mercato siano poco praticabili alternative all'alimentazione a gasolio per questi veicoli.

Poiché uno degli obiettivi dello studio è individuare le categorie di veicoli alimentati a gasolio a cui estendere il divieto alla circolazione all'interno dell'area milanese al fine di rientrare nel valore limite relativo alla concentrazione media annuale, occorre estendere i risultati relativi al periodo di riferimento della simulazione all'intero anno. A tale scopo sono state utilizzate le concentrazioni medie misurate, sia durante il periodo di simulazione (11/02/2017-11/03/2017, $mis_{11/2-11/3}$) sia durante l'intero anno (mis_{2017}), dalle otto stazioni di monitoraggio ARPA presenti nel Comune di Milano e le concentrazioni calcolate durante il periodo di simulazione ($calc_{11/2-11/3}$) nello Scenario "ex ante" (Tabella 2). A partire dai dati mostrati in Tabella 2 tabella sono state calcolate:

- la media del rapporto tra le concentrazioni medie rilevate durante l'intero anno (mis_{2017}) e il periodo di simulazione ($mis_{11/2-11/3}$) che è risultata pari a 0.84;
- la media del rapporto tra le concentrazioni medie rilevate e calcolate dal modello in corrispondenza delle stazioni di misura ($calc_{11/2-11/3}$) che è risultata pari a 0.69. Tale valore indica una sovrastima del modello che tuttavia non risulta essere uniforme per le diverse stazioni di misura.

Moltiplicando quindi, per ciascun punto del dominio di calcolo, le concentrazioni medie di NO₂ calcolate dal modello di dispersione ($calc_{11/2-11/3}$), re-

Tabella 2 – Concentrazioni medie misurate e calcolate di NO₂ in diversi periodi del 2017 in corrispondenza delle stazioni ARPA dislocate nella città di Milano

	Marche	Liguria	Parco Lambro	P.zza Abbiategrasso	P.zza Zavattari	Verziere	Senato	Pascal Città Studi
$mis_{11/2-11/3}$	85.8	60.6	42.5	41.1	53.5	57.0	65.5	61.7
mis_{2017}	64.4	55.9	35.1	35.0	50.5	48.1	54.1	44.5
$calc_{11/2-11/3}$	96.8	80.6	82.3	68.3	85.9	85.0	86.8	82.8
$\frac{mis_{2017}}{mis_{11/2-11/3}}$	0.75	0.92	0.83	0.85	0.94	0.84	0.83	0.72
$\frac{mis_{11/2-11/3}}{calc_{11/2-11/3}}$	0.89	0.75	0.52	0.60	0.62	0.67	0.75	0.75

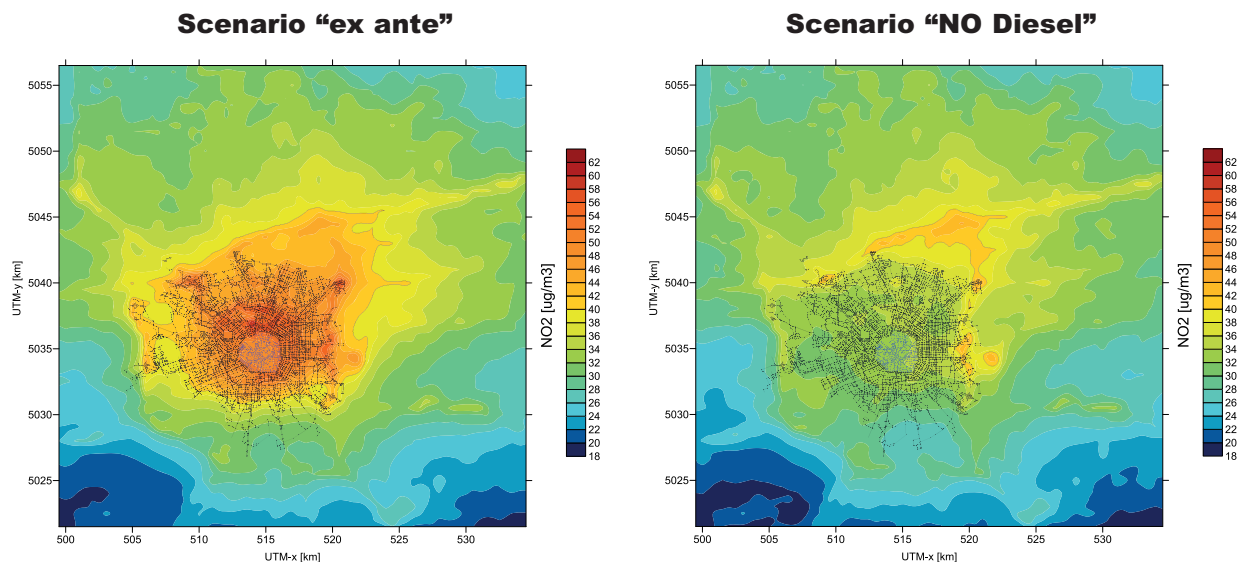


Figura 6 – Concentrazioni medie annuali al suolo di NO_2 corrispondenti agli scenari “ex-ante” e “NO Diesel”

lativamente ai due scenari emissivi, per il prodotto di tali parametri (ovvero per $0.58=0.84 \cdot 0.69$) si ottiene una stima realistica delle concentrazioni medie annuali relative a tale inquinante nei due scenari emissivi. In Figura 6 sono riportate le mappe relative alle concentrazioni medie annuali di NO_2 nei due scenari emissivi.

L'esame della mappa relativa allo scenario “ex ante” evidenzia che la maggior parte dell'area urbana milanese presenta concentrazioni medie annuali di NO_2 superiori al valore limite e che i valori più elevati delle concentrazioni, compreso il massimo assoluto di circa $60 \mu\text{g m}^{-3}$, si stimano lungo le circonvallazioni a nord del centro cittadino. Tali stime trovano conferme nei valori rilevati dalla stazione “Milano – viale Marche” che riporta, per l'anno 2017, una concentrazione media annua pari a $64.4 \mu\text{g m}^{-3}$ (Tabella 2). Una valutazione più completa delle prestazioni del modello di dispersione è riportata nel Materiale Supplementare (2).

La mappa relativa allo scenario “NO Diesel” evidenzia il rilevante contributo dei veicoli diesel ai livelli di NO_2 ; il blocco di tali veicoli consentirebbe infatti il rispetto del valore limite in ampie aree del territorio comunale ad esclusione di zone lungo le tangenziali a est e a nord, sulle quali la circolazione dei veicoli diesel non è stata bloccata. A partire dai risultati dei due scenari è stato possibile stimare il contributo percentuale dei veicoli diesel circolanti a Milano alle concentrazioni di NO_2 misurate dai campionatori passivi durante il periodo della campagna di misura. Dall'esame di Figura 7 ri-

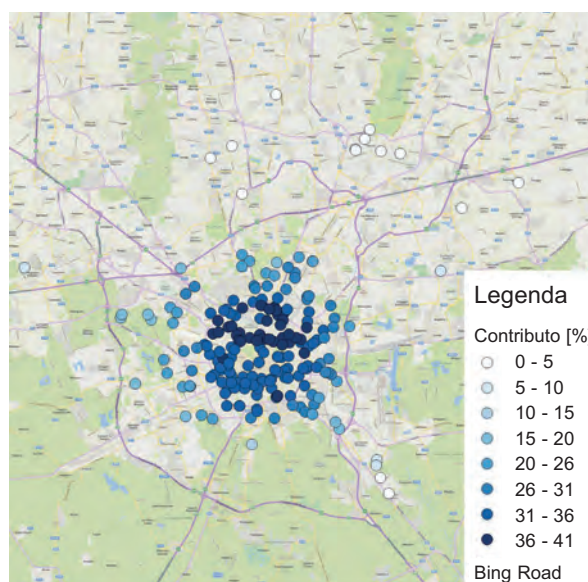


Figura 7 – Contributo, in termini percentuali, dei veicoli diesel circolanti a Milano alle concentrazioni di NO_2 misurate dai campionatori passivi durante il periodo della campagna di misura

sultano contributi significativi con valori massimi compresi tra il 36% e il 41%.

4. DISCUSSIONE

La differenza tra le mappe di concentrazione di NO_2 calcolate per i due scenari emissivi è stata successivamente utilizzata come base per stimare la riduzione delle emissioni necessaria a raggiungere l'obiettivo di rispettare il limite di legge sulle me-

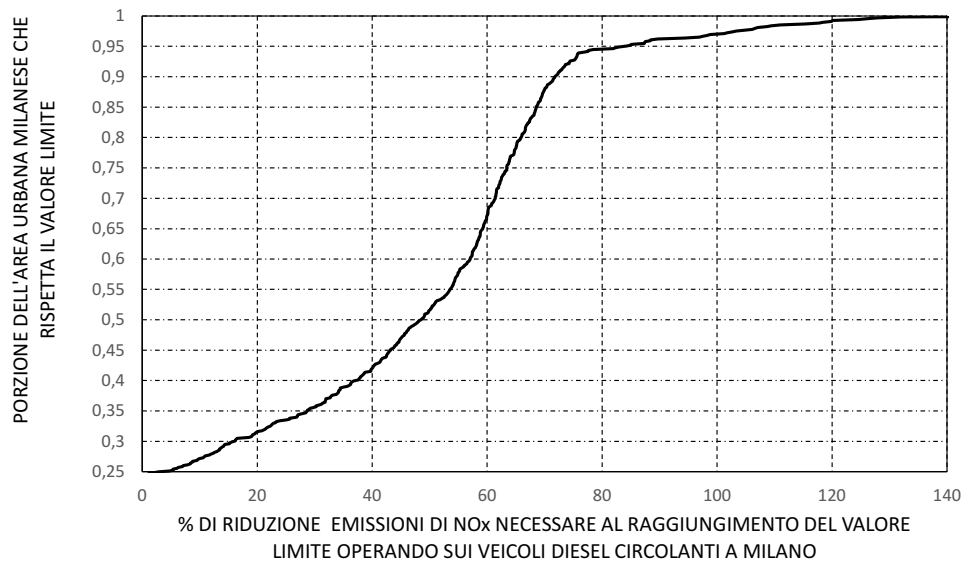


Figura 8 – Stima della riduzione delle emissioni necessaria a rispettare il limite di legge sulle medie annuali di NO_2 ($40 \mu\text{g m}^{-3}$) su tutto il territorio milanese

die annuali ($40 \mu\text{g m}^{-3}$) su tutto il territorio milanese. In prima approssimazione è stata assunta una dipendenza lineare tra la riduzione complessiva delle emissioni su tutta l'area e la corrispondente variazione delle concentrazioni medie in ogni cella del dominio di calcolo, espressa dalla proporzione:

$$\Delta E_{100\%diesel} : \Delta C_{ex-ante-NO Diesel} = \Delta E_x : \Delta C_{ex-ante-obiettivo}$$

dove:

- $\Delta E_{100\%diesel}$ è la variazione delle emissioni legata al complesso dei veicoli diesel;
- $\Delta C_{ex-ante-NO Diesel}$ è la riduzione delle concentrazioni di NO_2 per lo scenario "NO Diesel" rispetto a quello "ex-ante";
- $\Delta C_{ex-ante-obiettivo}$ la riduzione di concentrazione necessaria per raggiungere il valore limite;
- ΔE_x è la variazione delle emissioni necessarie a conseguire il valore limite. Si osservi che in talune aree anche la riduzione del 100% delle emissioni dai veicoli diesel non è sufficiente al raggiungimento del valore limite. In tali aree ΔE_x assume quindi valori superiori al 100%.

Ciascun punto dell'area milanese richiederà dunque una riduzione più consistente delle emissioni quanto più sarà grande lo scostamento del livello attuale di concentrazione rispetto al valore limite. La variazione emissiva che consente di rispettare il valore limite su tutta l'area corrisponderà al valore più elevato delle variazioni calcolate per tutti i punti. A fronte di riduzioni inferiori invece, il limite verrà rispettato su porzioni più ridotte dell'area milanese. Può risultare a questo punto di in-

teresse la stima della porzione di area urbana per la quale è possibile il rientro nel limite anche a fronte di livelli intermedi di riduzione. Ciò è espresso dal grafico riportato in Figura 8, ottenuto a partire dalla relazione di cui sopra calcolando per variazioni emissive ΔE_x progressive la percentuale di area urbana che via via giunge a rispettare il limite.

La situazione dello scenario "ex-ante" è rappresentata dal punto in basso a sinistra (solo il 25% del territorio milanese è al di sotto del limite di legge), mentre l'estremo in alto a destra della curva rappresenta la situazione in cui si suppone di eliminare del tutto i veicoli diesel. I punti intermedi danno una stima della percentuale di area urbana che rispetta il limite a fronte di una data riduzione delle emissioni (espressa in percentuale rispetto al complesso delle emissioni dei veicoli diesel) o, di converso, la riduzione necessaria al conseguimento del rispetto del limite su una data percentuale di area urbana. Sulla base dei dati relativi alle stime emissive e alle simulazioni di qualità dell'aria effettuate risulta che la variazione emissiva che consentirebbe di rispettare il valore limite su tutta l'area è superiore alle emissioni complessive di tutti i veicoli diesel attualmente circolanti nel Comune. Anche dunque immaginando di eliminare tutti i veicoli diesel non è possibile raggiungere il valore limite dappertutto. Sono dunque necessarie riduzioni superiori, che coinvolgono altri settori e attività, per esempio, restando nell'ambito del traffico, riducendo le emissioni sulle autostrade a Nord di Milano a seguito di un parco

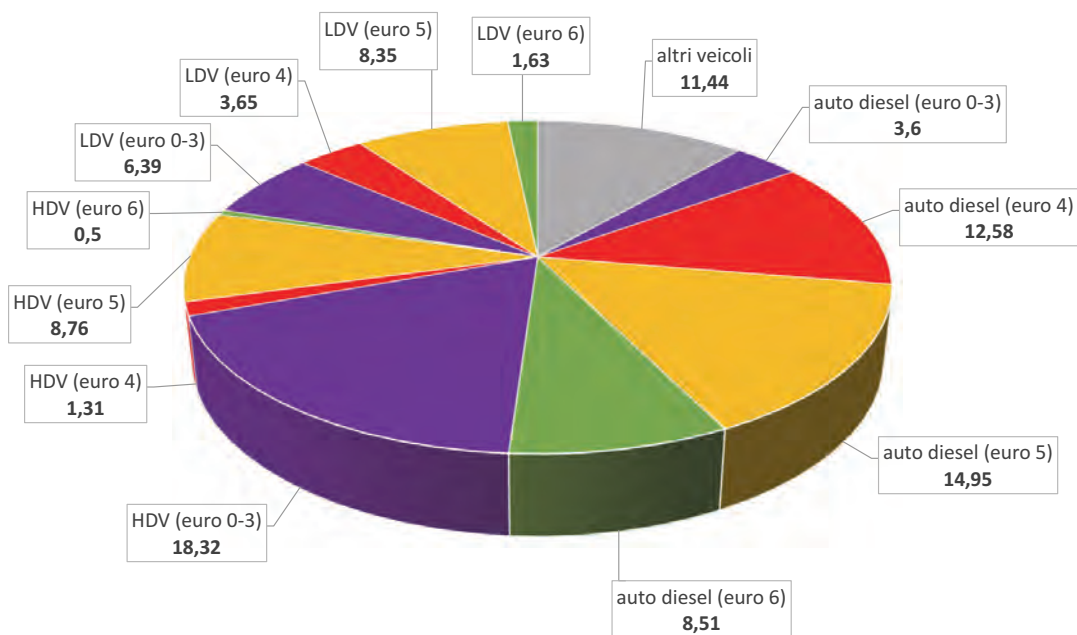


Figura 9 – Contributi percentuali dei vari segmenti di parco veicoli analizzati alle emissioni di NO_x da traffico veicolare lungo le strade urbane (escluse autostrade e tangenziali). LDV = veicoli commerciali leggeri; HDV = veicoli commerciali pesanti; in “altri veicoli” sono comprese le autovetture benzina e ibride e i bus

circolante meno inquinante. I punti posti sulla curva possono essere utilizzati per ipotizzare scenari intermedi ovvero le conseguenze di possibili divieti di circolazione per determinate categorie di veicoli. In Figura 9 sono riportati i contributi percentuali alle emissioni di NO_x dei vari segmenti del parco veicoli circolante, aggregati per classe Euro, che unitamente alla curva di riduzione emissioni-concentrazioni (Figura 8) possono essere utilizzati per stimare le porzioni di territorio che rispetterebbero il limite, a fronte di limitazioni alla circolazione per diverse classi Euro. Le stime che ne risultano possono essere riassunte a titolo esemplificativo come segue indicando la data in cui sarà vietato l'ingresso in area B delle categorie di veicoli diesel considerati:

- con una limitazione alla circolazione per tutti i veicoli diesel *pre-Euro 4* (automobili, veicoli commerciali leggeri e pesanti, divieto di ingresso in Area B dal 25 febbraio 2019) si otterrebbe una riduzione delle emissioni complessive di NO_x pari a circa il 28% di tutte le emissioni da traffico veicolare, con un aumento al 35% della porzione del territorio milanese che rispetterebbe il valore limite per la concentrazione in aria del biossido di azoto;
- con una limitazione estesa a tutte le classi *pre-Euro 5* (divieto di ingresso in Area B dal 1° ottobre 2019) la riduzione delle emissioni risulterebbe

be pari a circa il 46%, con un corrispondente aumento a circa il 50% del territorio che rispetterebbe il limite;

- una limitazione estesa a tutte le classi *pre-Euro 6* (divieto di ingresso in Area B dal 1° ottobre 2022) porterebbe ad una riduzione delle emissioni di NO_x pari a circa il 78% con la quasi totalità, circa il 95%, del territorio milanese che rispetterebbe il limite.

5. CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono riportati i risultati di simulazioni modellistiche volte a stimare l'impatto sulle concentrazioni medie annuali di NO₂ delle emissioni di veicoli alimentati a gasolio circolanti nell'area urbana milanese. A tale scopo è stato applicato un sistema modellistico su un dominio di calcolo che comprende la città di Milano e si estende su una superficie di 35x35 km² alla risoluzione spaziale di 500 m. La stima delle emissioni è stata effettuata a partire dall'inventario delle emissioni in atmosfera INEMAR (ARPA Lombardia) e, relativamente al traffico veicolare sulla rete stradale urbana milanese, dalle informazioni di dettaglio fornite all'Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio (AMAT) del Comune di Milano. I risultati delle simulazioni modellistiche hanno permesso di produrre mappe di concentrazioni medie

annuali di NO₂ considerando uno scenario “ex-ante”, corrispondente alla situazione riferita all’anno 2017 (durante il quale si è svolta la campagna “NO₂, No grazie!”) e uno scenario “NO Diesel”, corrispondente a un ipotetico scenario emissivo nel quale vengono annullate le emissioni derivanti da tutti i veicoli alimentati a gasolio circolanti nel Comune di Milano. I risultati relativi allo scenario “ex-ante” evidenziano che l’area urbana milanese presenta concentrazioni medie annuali superiori al valore limite e che i valori più elevati delle concentrazioni, compreso il massimo assoluto di circa 60 µg m⁻³, si rilevano lungo le circonvallazioni a nord del centro cittadino. Tali stime trovano conferme dai rilevamenti effettuati da ARPA Lombardia che misura livelli di NO₂ superiori al valore limite nella città metropolitana di Milano. I risultati relativi allo scenario “NO Diesel” evidenziano valori di NO₂ superiori al valore limite solo lungo le tangenziali a est e a nord dell’area urbana, ove non sono state apportate modifiche al parco circolante. A partire dai risultati di tali simulazioni è stato possibile stimare la variazione percentuale della porzione di territorio milanese che rispetterebbe il valore limite a fronte di limitazioni della circolazione per tutti i veicoli (automobili, LDV e HDV) alimentati a gasolio e distinti per categoria Euro. Limitando la circolazione a tutti i veicoli pre-Euro 4, pre-Euro 5 e pre-Euro 6, si otterrebbe un aumento della porzione del territorio milanese che rispetterebbe il valore limite rispettivamente pari a circa il 35%, 50% e 95%. Tali stime evidenziano il contributo sostanziale al miglioramento della qualità dell’aria nelle aree urbane derivante da misure di controllo della circolazione di veicoli diesel.

Lo studio risponde infine alle due domande poste nell’introduzione e mostra le potenzialità di sistemi modellistici completi relativamente sia alla simulazione di complesse situazioni meteorologiche, emissive e diffusive sia alla valutazione dell’apporto delle diverse sorgenti emissive alla qualità dell’aria.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bessagnet B., Pirovano G., Mircea M., Cuvelier C., Aulin-ger A., Calori G., Ciarelli G., Manders A., Stern R., Tsyro S., García Vivanco M., Thunis P., Pay M.-T., Colette A., Couvidat F., Meleux F., Rouil L., Ung A., Aksoyoglu S., Baldasano J. M., Bieser J., Briganti G., Cappelletti A., D’Isidoro M., Finardi S., Kranenburg R., Silibello C., Carnevale C., Aas W., Dupont J.-C., Fagerli H., 25 Gonzalez L., Menut L., Prévôt A.S.H., Roberts P., White L. (2016) Presentation of the EURODELTA III intercomparison exercise – evaluation of the chemistry transport models’ performance on criteria pollutants and joint analysis with meteorology. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 12667-12701.
<https://doi.org/10.5194/acp-16-12667-2016>
- Gariazzo C., Silibello C., Finardi S., Radice P., Piersanti A., Calori G., Cecinato A., Perrino C., Nussio F., Cagnoli M., Pelliccioni A., Gobbi G.P., Di Filippo P. (2007) A gas/aerosol air pollutants study over the urban area of Rome using a comprehensive chemical transport model. *Atmos. Environ.*, 41, 7286-7303.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.05.018>
- Mellios G., Ntziachristos L. (2016) Methodology for the calculation of fuel evaporation – SNAP 070600, NFR 1A3bv. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook.
- Nanni A., Brusasca G., Calori G., Finardi S.C., Tinarelli G., Zublena M., Agnesod G., Pession G. (2004) Integrated assessment of traffic impact in an Alpine region. *Science of the Total Environment*, 334-335, 465-471.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.04.050>
- Ntziachristos L., Boulter P. (2016) Methodology for the calculation of non-exhaust PM emissions – SNAP 070700-070800, NFR 1A3bvi-vii. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook.
- Ntziachristos L., Samaras Z. (2018) Methodology for the calculation of exhaust emissions – SNAPs 070100-070500, NFRs 1A3bi-iv. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook.
- Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Duda M.G., Huang X.Y., Wang W., and Powers J.G. (2008) A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR.
<https://doi.org/10.5065/D68S4MVH>
- Silibello C., Calori G., Brusasca G., Giudici A., Angelino E., Fossati G., Peroni E., Buganza E. (2008) Modelling of PM10 concentrations over Milano urban area using two aerosol modules. *Environmental Modelling and Software*, 3, 333-343.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.04.002>

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare l’Associazione Cittadini per l’Aria e l’Organizzazione Benefica ClientHearth per aver finanziato lo studio e l’Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio (AMAT) del Comune di Milano per aver messo a disposizione i dati di traffico relativi alla città di Milano.

Materiale supplementare è disponibile gratuitamente all’indirizzo www.ingegneriadellambiente.net

UNO STRUMENTO INNOVATIVO PER MONITORARE L'EFFICIENZA DI AERAZIONE E LE EMISSIONI DI GAS SERRA NEGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE

Cecilia Caretti¹, Iacopo Ducci¹, Roberta Muoio¹,
Francesco Spennati^{2,*}, Simone Neri³, Riccardo Gori¹

¹ Dipartimento di ingegneria civile e ambientale (DICEA), Università degli Studi di Firenze.

² Consorzio Cuoioepur SpA, San Romano (PI).

³ West Systems Srl, Pontedera (PI).

Sommario – Gli impianti di depurazione delle acque reflue, svolgono un ruolo essenziale per garantire il raggiungimento o il mantenimento degli obiettivi di qualità dei corpi idrici superficiali, ma sono anche una fonte di emissioni di gas serra dirette, originate dai processi biologici, ed indirette, associate ai consumi energetici dei vari processi di trattamento. I processi a fanghi attivi sono ad oggi quelli più utilizzati per la depurazione delle acque reflue e richiedono energia per il trasferimento dell'ossigeno in fase liquida. Tale energia rappresenta solitamente il 50-60% di quella totale richiesta dagli impianti. Ottimizzare il comparto di ossidazione può, dunque, ridurre significativamente i consumi energetici e le emissioni indirette degli impianti. In questo contesto si inserisce il progetto LIFE LESSWATT (Progetto n. LIFE16 ENV/IT/000486), il cui obiettivo principale è quello di sviluppare uno strumento innovativo per il monitoraggio in continuo e in completa autonomia dell'efficienza di trasferimento dell'ossigeno e delle emissioni di gas serra nel comparto di ossidazione degli impianti di depurazione, al fine di ottimizzarne il sistema di aerazione e di ridurre i consumi energetici e l'impronta di carbonio. Lo strumento è stato ad oggi testato presso l'impianto di depurazione Cuoioepur (San Miniato, PI), dimostrando grande manovrabilità e automazione. Lo strumento ha dimostrato di misurare e stimare in maniera corretta tutti i parametri di interesse, consentendo di monitorare l'intera superficie della vasca evidenziando dinamiche locali. Inoltre, dal momento che si tratta di un dispositivo automatico, consente di ridurre la presenza di personale necessario per le misure. Il prototipo (LESSDRONE) sarà testato e ottimizzato presso ulteriori 5 impianti di depurazione europei, di cui 3 italiani e 2 nord-europei, per valutare la trasferibilità e la versatilità della tecnologia in contesti diversi.

Parole chiave: trasferimento dell'ossigeno, gas serra, trattamento delle acque reflue, risparmio energetico, aerazione.

DEVELOPMENT OF AN INNOVATIVE TOOL FOR MONITORING THE AERATION SYSTEM PERFORMANCE AND THE GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN WRRFS

Abstract – Water Resources Recovery Facilities (WRRFs) are sources of greenhouse gases (GHGs) emission both direct (i.e. from biological processes) and indirect (i.e. due to the energy necessary for operating the treatment processes). Aeration of the biological tanks accounts for 50-60% of the total energy consumption of WRRFs. In light of this, and considering the worldwide concern for energy sustainability and adaptation strategies, there is a need to develop and implement innovative tools for reducing WRRFs carbon and energy footprint by optimizing treatment steps and lowering energy requirements from aeration systems. Within the project LIFE LESSWATT (LIFE16 ENV/IT/000486) co-financed by the European Union, an innovative wireless tool for measuring energy consumption and GHGs emission of WRRFs has been manufactured and tested. The project consists of an innovative instrument (LESSDRONE) and a new protocol for converting LESSDRONE measures and specific WRRF data in actions aimed at optimizing the operation of the aerobic compartments of WRRFs. The project, started in October 2017, involves five partners: the Department of Civil and Environmental Engineering of the University of Florence, Cuoioepur SpA, the Department of Mathematical Modelling, Statistics and Bioinformatics of the Ghent University, West System Srl and Utilitatis. The LESSDRONE instrument allows the real-time monitoring of the oxygen transfer efficiency (OTE) and GHGs emission from the aerated tanks in operating conditions in order to minimize WRRFs carbon footprint (CFP) and energy demand. LESSDRONE is an automated, wireless and self-moving device. The automatic positioning of the hull, managed by Global Positioning System (GPS), and the instrumentation, are connected through a specific software that manages the different sampling phases. The sample collected by the hood passes through the sampling circuit equipped with silica gel cartridge, in order to dry the sample, and detectors for the measurement of CO₂, CH₄, N₂O, O₂, humidity, temperature and pressure, air velocity and dissolved oxygen (DO). One year of measurement campaigns using the LESSDRONE were carried out within the Cuoioepur WRRF (Central Italy), that treats tannery and municipal wastewater, in order to assess the influence of operating parameters such as temperature and inlet load on the aeration efficiency and GHGs production. Moreover, the monitoring was aimed at evaluating the diffuser aging on the oxygen transfer efficiency (OTE). Each measurement campaign consisted of:

* Per info: Via Arginale Ovest 81, 56020 San Romano (PI), Italia, francesco.spennati@cuoioepur.it

a) Points tests: measurements on several points of the oxidation tank with constant airflow. On each point the OTE and the GHGs (CO_2 , N_2O and CH_4) were detected. Spatial distribution within the tanks of the off-gas flow rate and the concentration of DO were measured; b) Stationary tests: measurements in a single point of the tank for an extended period of time (up to one week). The OTE and the concentrations of the GHGs were measured in order to assess their temporal distribution in different operating conditions (working day/public holidays, night/day, high/low load, etc.). During each test, sampling and analysis (COD, nitrogen compounds, mixed liquor suspended solids, etc.) of the inlet and outlet of the oxidation tanks were carried out. In this paper, we present the results of the measurement campaigns carried out at Cuoiodepur WRRF. The new tool (LESSDRONE + protocol) will be tested in other 5 European WRRFs, with different characteristics in terms of treatment trains and loads, in order to validate the tool and make it applicable in a wide range of situations.

Keywords: *eration systems, GHGs emissions, energy saving, oxygen transfer efficiency, Water Resources Recovery Facilities*

Ricevuto il 21-3-2020. Correzioni richieste il 27-4-2020. Accettazione il 13-5-2020.

1. INTRODUZIONE

Gli impianti di depurazione delle acque reflue sono fonte di emissione dei principali gas serra (CO_2 , CH_4 , N_2O) e le emissioni possono essere classificate come dirette ed indirette (Mannina et al., 2016). Le emissioni dirette derivano dai processi biologici che avvengono all'interno degli impianti, mentre le emissioni indirette sono associate ai consumi energetici per il sostentamento dei vari processi. A livello globale, si stima che gli impianti di depurazione contribuiscono per circa il 3% alle emissioni totali di gas serra (IPCC, 2013). La CO_2 è prodotta durante il processo biologico di ossidazione del substrato carbonioso; si tratta di un processo aerobico in cui la sostanza organica (misurata come COD biodegradabile) viene ossidata a CO_2 con produzione di H_2O . Le emissioni di N_2O negli impianti di depurazione sono dovute, per la maggior parte, ai processi di nitrificazione e denitrificazione, per i quali l' N_2O rappresenta un prodotto intermedio (Foley et al., 2010; Kampschreur et al., 2009). Le emissioni di N_2O , seppur nettamente inferiori rispetto a quelle di CO_2 , destano particolare preoccupazione dato l'elevato potenziale di riscaldamento globale (*Global Warming Potential*, GWP) dell' N_2O , pari a 298 CO_2 equivalente su 100 anni (IPCC, 2007). Pertanto, nonostante le basse emissioni di N_2O , esse contribuiscono significativamente al *Carbon Footprint* (CFP) degli impianti di depurazione. Le emissioni di CH_4 , invece, si originano prevalentemente nelle condotte

fognarie e in quelle sezioni degli impianti di depurazione in cui prevalgono condizioni anaerobiche. Tuttavia, emissioni non trascurabili di metano possono essere rilevate anche nei comparti ossidativi in presenza di flussi derivanti da sezioni anaerobiche, a causa dello strappaggio favorito dall'aerazione, soprattutto nel caso di sistemi meccanici superficiali (Daelman et al., 2012).

Per quanto riguarda i consumi energetici degli impianti, essi aumentano in funzione del carico in ingresso (Vaccari et al., 2018) e sono in gran parte dovuti ai sistemi di aerazione delle vasche di ossidazione (Metcalf e Eddy, 2003). Pertanto, l'aerazione è responsabile di un'ampia fetta delle emissioni indirette. I processi aerobici a fanghi attivi sono la tecnologia più utilizzata per il trattamento delle acque reflue urbane e industriali, conseguentemente, l'ottimizzazione del processo di trasferimento dell'ossigeno, ad esempio attraverso la corretta gestione delle operazioni di pulizia e manutenzione dei diffusori, può ridurre in modo significativo i costi energetici e al CFP degli impianti (Gori et al., 2014). Al tempo stesso, il monitoraggio delle emissioni dirette dei gas serra è importante per riuscire a valutare le condizioni operative che ne consentano la riduzione.

La capacità di ridurre al CFP degli impianti di trattamento delle acque reflue ha assunto rilevante importanza anche a seguito del fatto che l'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) ha introdotto la Regolazione della Qualità Tecnica del Servizio Idrico Integrato per mezzo di una serie di indicatori tra i quali compare quello relativo all'impronta di carbonio del servizio di depurazione. Appare dunque evidente l'importanza, per il gestore, di trovare strumenti affidabili per misurare le prestazioni in termini di efficienza e di emissioni legate alla sezione biologica di trattamento.

In questo quadro si inserisce il progetto LIFE LESSWATT (progetto n. LIFE16 ENV/IT/000486), cofinanziato dall'Unione Europea, il cui obiettivo principale è lo sviluppo di uno strumento innovativo per valutare e minimizzare i contributi diretti e indiretti del CFP prodotta dalle vasche di ossidazione degli impianti di depurazione. La soluzione proposta comprende un prototipo (LESSDRONE) per il monitoraggio, in condizioni operative, dell'efficienza di trasferimento dell'ossigeno e dell'emissione dei gas serra, e un protocollo che traduce le informazioni raccolte in azioni volte a minimizzare al CFP degli impianti e il loro consumo energetico.

Il progetto (i cui sviluppi sono consultabili sul sito www.lesswattproject.eu) ha avuto inizio nell'otto-

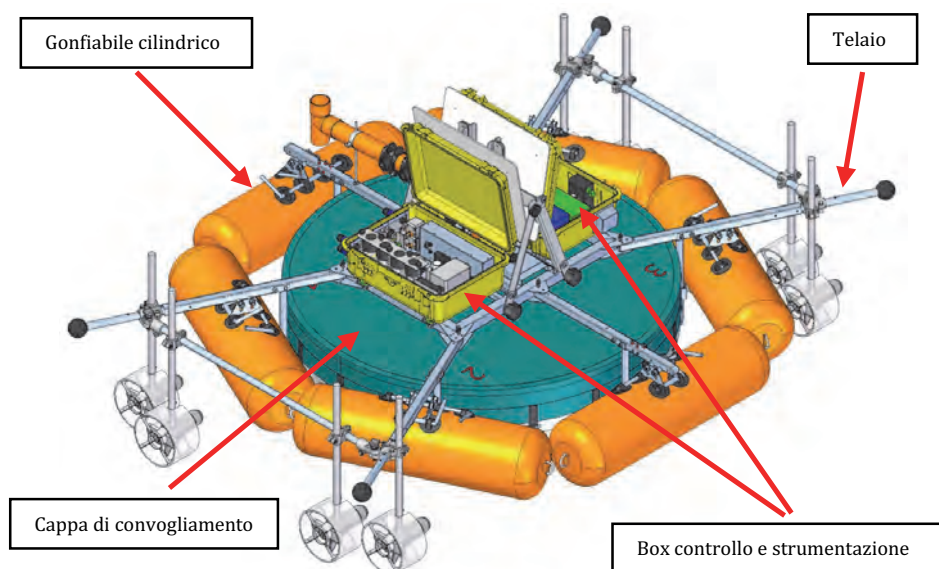


Figura 1 – Vista della elaborazione 3D del LESSDRONE

bre 2017 e vede il coinvolgimento di 5 partner, ovvero il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze, il Consorzio Cuoidepur SpA, il *Department of Mathematical Modelling, Statistics and Bioinformatics* (BIOMATH) dell'Università di Ghent, WEST System Srl e la Fondazione Utilitatis, ognuno dei quali con specifici compiti ed expertise. La prima parte del progetto ha consentito la raccolta di tutte le informazioni necessarie alle successive fasi di progettazione, costruzione e testing del prototipo. A tale scopo sono state programmate delle campagne di misura delle emissioni di GHGs e dell'efficienza di trasferimento dell'ossigeno presso l'impianto di depurazione Cuoidepur (San Miniato, PI) per la fase di testing del prototipo, e in altri 5 impianti di depurazione europei per valutare la trasferibilità e la versatilità della tecnologia in contesti diversi. Nel presente lavoro, si riporta la descrizione del prototipo e delle sue funzionalità e sono esposti i risultati delle campagne di monitoraggio effettuate presso l'impianto Cuoidepur, a partire da maggio 2019, al fine di testare la funzionalità del prototipo sia dal punto di vista della movimentazione e manovrabilità sia dal punto di vista dell'affidabilità delle misure.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Descrizione del prototipo

Lo strumento LESSDRONE è stato progettato e realizzato per poter effettuare in modo autonomo misure sulla concentrazione dei gas contenuti al-

l'interno dell'aria che fuoriesce dalle vasche di ossidazione (off-gas) degli impianti di depurazione. Il drone, mostrato in Figura 1, è composto da un telaio di supporto in acciaio, smontabile e ripiegabile, al quale sono ancorati 6 cilindri gonfiabili indipendenti. Al centro è presente una cappa con la funzione di convogliare l'off-gas che fuoriesce dalla superficie delle vasche all'interno di un tubo di collettamento. Il diametro del drone è pari a circa 2 m a cui si deve aggiungere l'ingombro, di circa 1 m, della struttura su cui sono montati i motori. Sulla parte superiore del telaio è presente un alloggiamento per due box che contengono rispettivamente la strumentazione di analisi (*sampling box*) e i dispositivi di controllo e posizionamento (*control box*). Essi sono collegati tra loro attraverso un apposito cavo multipolare che consente la comunicazione dei dati e il trasporto dell'alimentazione.

All'interno del *control box* sono presenti i dispositivi dedicati al sistema di propulsione e navigazione, il PC, il router 4G per il collegamento remoto e le batterie. Il PC gestisce sia il movimento dello strumento, che le fasi di campionamento, acquisizione e visualizzazione dati. Il *sampling box* contiene la strumentazione necessaria ad effettuare le analisi sul campione di off-gas e le sonde di misura della velocità del flusso d'aria e dell'ossigeno disciolto. Il gas, convogliato dalla cappa nel tubo di collettamento, passa attraverso un sistema di raccolta della condensa e, successivamente, attraverso quattro cartucce in parallelo contenenti gel di silice per la rimozione dell'umidità residua del campione. Il gas passa poi attraverso gli analizzatori

per la misura di CO₂, CH₄, N₂O ed O₂; lo strumento fornisce anche le misure di umidità, temperatura e pressione. Il LESSDRONE è spinto da 8 motori ad elica a doppia ala, ciascuno dei quali è capace di erogare una spinta di circa 8.2 kgf. Il prototipo può essere telecomandato da remoto tramite l'apposito telecomando (missione manuale) o, in alternativa, è possibile pianificare il percorso e, una volta avviata la missione, il drone si dirigerà verso i punti di interesse, stazionando su di essi e avviando/interrompendo la misura automaticamente (missione automatica). Gli analizzatori sono stati scelti sulla base delle caratteristiche tecniche, tenendo conto delle dimensioni. Il sensore per CO₂ basato sul principio dell'assorbimento infrarosso, ha un range di misura tra 0-20% con un'accuratezza di ±0.2% per misure comprese tra 0-8% (tipiche degli off-gas). Il sensore per O₂, basato sulla tecnologia ottica a fluorescenza, ha un range di misura tra 0-300mbar sulla pressione parziale (0-25 O₂%) e un'accuratezza pari ±2% del fondo scala (FS). Il sensore a infrarosso per la lettura di N₂O ha un range di misura tra 0-2000ppm e un'accuratezza pari a ±2%FS. Infine, il sensore per CH₄, anch'esso a infrarosso, ha un range di misura tra 0-2000ppm e un'accuratezza pari a ±4%FS.

2.2. Descrizione delle tipologie di prove

Lo strumento è stato ideato e realizzato per valutare l'efficienza di aerazione sulla base dei principi del metodo off-gas, una metodologia ampiamente consolidata per la stima dell'efficienza di trasferimento dell'ossigeno che si basa su un bilancio di massa in fase gassosa tra il contenuto di ossigeno nel gas di riferimento (aria atmosferica) e nell'off-gas emesso durante i processi di ossidazione biologica (Redmon et al., 1983).

Le prove per la valutazione dei sistemi di aerazione si dividono in due tipologie:

- *Prova a punti*: monitoraggio di più punti della stessa vasca per la determinazione della distribuzione spaziale dell'efficienza di trasferimento dell'ossigeno e delle concentrazioni dei gas serra. Le efficienze misurate su diversi punti della stessa vasca consentono di ottenere una stima di maggior dettaglio dell'efficienza complessiva del sistema e di evidenziare eventuali differenze dovute all'idrodinamica, alla concentrazione dei contaminanti e alla distribuzione dell'aria. Il tempo di stazionamento sul singolo punto è deciso dall'operatore (generalmente 5-10 minuti); a questo occorre sommare il tempo necessario

per lo svuotamento del circuito di campionamento e della cappa e per la stabilizzazione del segnale (circa 3 min);

- *Prova stazionaria*: monitoraggio, per un periodo di tempo prolungato, di un punto fisso della vasca per la valutazione della variabilità nel tempo delle grandezze misurate in relazione alla variabilità delle condizioni di processo (carichi influenti, portata d'aria).

All'inizio di ciascuna prova, il software WS-SCADA consente di impostare la tipologia di prova che si intende effettuare:

- 1) *Prova riferimento*: lo strumento acquisisce i valori di *background* in aria;
- 2) *Prova a punti manuale*: lo strumento viene spostato manualmente, tramite telecomando, all'interno della vasca. Una prova include il campionamento di un singolo punto;
- 3) *Prova a punti automatica*: lo strumento viene spostato dal sistema di posizionamento automatico del drone all'interno della vasca. Una singola prova include diversi punti di campionamento;
- 4) *Prova stazionaria*: la prova prevede un campionamento su un singolo punto ad oltranza, senza limiti di tempo.

Durante le prove è possibile monitorare in tempo reale l'andamento mediante il software WS-SCADA interfacciato direttamente con il drone, attraverso il pannello dei sensori e dei parametri, Tabella 1.

Tabella 1 – Elenco dei parametri visualizzabili in tempo reale durante lo svolgimento delle prove

Parametro	Simbolo	Unità di misura
Concentrazione di ossigeno disciolto	DO	mg l ⁻¹
Temperatura dell'acqua	Tw	°C
Concentrazione di biossido di carbonio nell'off-gas	CO ₂	%
Velocità del flusso d'aria captato	V	m s ⁻¹
Concentrazione di metano nell'off-gas	CH ₄	ppm
Concentrazione di protossido di azoto nell'off-gas	N ₂ O	ppm
Concentrazione di ossigeno nell'off-gas	O ₂	%
Pressione atmosferica	Patm	mBar
Pressione nel circuito di campionamento	Pt	mBar
Temperatura nel circuito di campionamento	Tt	°C
Umidità relativa nel circuito di campionamento	RHt	%
Efficienza di trasferimento dell'ossigeno	OTE	%
Efficienza di trasferimento dell'ossigeno in condizioni standard e in acqua di processo	αSOTE	%
Portata d'aria per unità di superficie della vasca	Q _{air} /m ²	Nm ³ h ⁻¹ m ⁻²
Rateo di trasferimento dell'ossigeno per unità di superficie	OTR	Kg O ₂ h ⁻¹ m ⁻²

Le misure di pressione e temperatura dell'off-gas all'interno dell'analizzatore sono utilizzate per assicurare il buon funzionamento dei sensori. I risultati delle prove sono salvati in file di dati.

2.3. Descrizione delle campagne di monitoraggio

Il progetto ha previsto l'esecuzione di una serie di campagne di monitoraggio presso l'impianto di depurazione Cuoiodepur (850000 AE, 130 gCOD d⁻¹AE⁻¹), situato nel comune di San Miniato (PI), in uno dei più importanti distretti conciarci europei. L'obiettivo delle campagne, effettuate a partire da maggio 2019, è stato quello di testare l'operatività dello strumento nella determinazione delle emissioni di gas serra e dell'efficienza di trasferimento dell'ossigeno del sistema di aerazione.

Prima del posizionamento del drone all'interno della vasca di ossidazione, effettuato a mezzo di una gru (Figura 2), viene eseguita una prova di riferimento campionando l'aria atmosferica per la determinazione della concentrazione di CO₂ e la percentuale O₂, quest'ultima utilizzata dal software per la successiva determinazione dell'efficienza di trasferimento di ossigeno.

Le prove sono state svolte in due delle 7 vasche di ossidazione dell'impianto Cuoiodepur (vasca 5 e vasca 6). Le vasche, di dimensioni pari a 51 m x 13.5 m, sono caratterizzate da una disposizione non omogenea del numero dei diffusori (N_D); passando dalla sezione di ingresso a quella in uscita si possono distinguere tre zone: 1) con densità di diffusori pari a 3.4 N_D/m², 2) con densità pari a 2.7 N_D/m², 3) con densità pari a 1 N_D/m² (Figura 3). Inoltre, le due vasche si differenziano per l'età dei diffusori: la vasca 5 si caratterizza per diffusori sostituiti nell'agosto 2018, mentre la vasca 6 è equipaggiata con diffusori meno recenti, sostituiti a settem-



Figura 3 – Planimetria delle vasche di ossidazione e rappresentazione delle tre zone a eguale densità di diffusori

bre 2017. I diffusori vengono sostituiti in ciascuna vasca una volta ogni 4 anni.

Nel complesso, sono state effettuate 5 campagne di monitoraggio. Ciascuna campagna ha previsto l'esecuzione di due prove a punti e una prova stazionaria su ciascuna delle due vasche, ad eccezione della seconda campagna in cui è stata esaminata solo la vasca 5. Durante le prove a punti, il drone ha stazionato su 9 differenti posizioni in modo tale da coprire omogeneamente tutta la superficie della vasca (Figura 4) e la portata d'aria è stata mantenuta in regime costante. Nelle prove stazionarie, invece, il drone è rimasto ancorato nel centro della vasca per tutta la durata del test (almeno due giorni) e la portata d'aria è stata fatta variare secondo l'ordinario sistema di gestione dell'impianto, ossia in funzione del raggiungimento di un certo set-point di ossigeno. Durante ciascuna campagna sono stati prelevati campioni del flusso in ingresso e in uscita alle vasche di ossidazione per l'analisi del COD e dell'azoto sia totale (TN) che nelle sue forme inorganiche (N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻) tramite test in cuvette e misure con spettrofotometro della Hach. In particolare, durante le



Figura 2 – LESSDRONE prima e dopo l'immissione in vasca per l'esecuzione delle prove

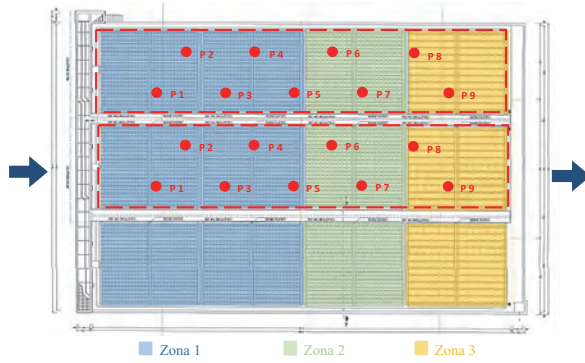


Figura 4 – Collocazione delle 9 posizioni per le prove a punti nelle vasche 5 e 6

prove a punti sono stati prelevati due campioni istantanei (in ingresso e in uscita) a inizio e fine prova, per un totale di 4 campioni per ciascuna vasca; durante le prove stazionarie, invece, è stato attivato un auto-campionatore per il prelievo in continuo di 24 campioni, uno ogni ora, in ingresso alle vasche, per la stima della variabilità giornaliera degli inquinanti influenti.

Al fine di dimostrare la validità e l'affidabilità delle letture dello strumento, sono stati confrontati i valori di portata d'aria e di ossigeno disciolto con quelli registrati dai misuratori presenti in impianto. In particolare, ciascuna vasca di ossidazione è dotata di un misuratore della portata d'aria posto nella tubazione in ingresso che misura la quantità di aria complessivamente insufflata, e di una sonda di ossigeno disciolto posta nella sezione di uscita. Inoltre, sono stati prelevati, contemporaneamente alle prove a punti, tramite delle sacche in teflon, dei campioni di off-gas, sui quali sono state misurate le concentrazioni di CO_2 , N_2O e CH_4 in laboratorio, mediante gascromatografo con rilevatore a ionizzazione di fiamma (GC-FID). Per quanto riguarda la stima della portata d'aria complessivamente insufflata nelle vasche durante le prove a punti, essa è stata determinata a partire dal valore di portata d'aria per unità di superficie, $Q_{\text{air}}/\text{m}^2$. Per una maggiore precisione di calcolo ciascuna vasca è stata suddivisa in tre zone (Figura 3) e, per ciascuna zona, è stato ricavato il valor medio di portata per unità di superficie.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1. Prove a punti

Durante le prove a punti è stata determinata la variazione spaziale dei valori di portata d'aria, ossigeno disciolto, efficienza di trasferimento dell'os-

sigeno ed emissioni di gas serra. Mediamente la portata d'aria determinata tramite il LESSDRONE è risultata circa pari a $2230 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$ ($\text{STD} = 387 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$) per ciascuna vasca, mentre quella misurata in impianto è risultata pari a $1890 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$ ($\text{STD} = 508 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$). Pertanto, la portata d'aria stimata si discosta da quella misurata in impianto mediamente del 18%. Questa differenza può dipendere da più fattori, primo fra tutti la frequenza di acquisizione del dato: mentre il misuratore in impianto registra un valore ogni 15 minuti, il LESSDRONE rileva un valore di $Q_{\text{air}}/\text{m}^2$ ogni 5 secondi permettendo di evidenziare meglio la variabilità della portata durante la prova a punti. Infatti, nonostante durante le prove a punti la portata d'aria debba rimanere costante, per come è strutturato il sistema (e in particolare il *piping*) di aerazione dell'impianto non è stato possibile mantenerla perfettamente tale, ma ha continuato a verificarsi una certa variabilità. Inoltre, nella stima della portata d'aria a partire da $Q_{\text{air}}/\text{m}^2$ si commette un certo errore di approssimazione dovuto al fatto che i valori vengono mediati per zone della vasca.

Occorre sottolineare molti impianti di depurazione non sono dotati di misuratori della portata d'aria, pertanto il LESSDRONE rappresenta una valida opportunità per poter stimare l'area insufflata nel comparto di ossidazione degli impianti, nonché in ciascuna delle singole vasche, e di determinarne la distribuzione spaziale.

3.1.1. Efficienza di trasferimento dell'ossigeno

In Figura 5 e Figura 6 si riporta l'efficienza di trasferimento dell'ossigeno in condizioni standard e in acqua di processo (αSOTE , %), alla portata d'aria per unità di superficie (Q_{air} , $\text{Nm}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$) e all'ossigeno disciolto (DO , mg l^{-1}) in ciascuna delle 9 posizioni indagate nelle prove a punti, rispettivamente in vasca 5 e 6. Ciascun grafico riporta, per ogni parametro, i valori di minimo, massimo, 25° percentile ($P_{0.25}$), mediana, 75° percentile ($P_{0.75}$) e la media della distribuzione di dati.

L'efficienza di trasferimento dell'ossigeno, αSOTE , piuttosto elevata rispetto ai valori di letteratura (Rosso et al., 2005), risulta leggermente superiore in vasca 5 rispetto alla vasca 6 ed è mediamente pari al 30.3% ($P_{0.25} = 26.5\%$, $P_{0.75} = 35.2\%$) in vasca 5 e 28.7% ($P_{0.25} = 24.4\%$, $P_{0.75} = 32.2\%$) in vasca 6. Tale risultato è concorde con lo stato dei diffusori nelle due vasche, più recenti in vasca 5 (2 anni) rispetto alla vasca 6 (3 anni); tuttavia, la differenza è minima pertanto è plausibile supporre che, dopo 4 anni, sia sufficiente effettuare la pulizia dei diffu-

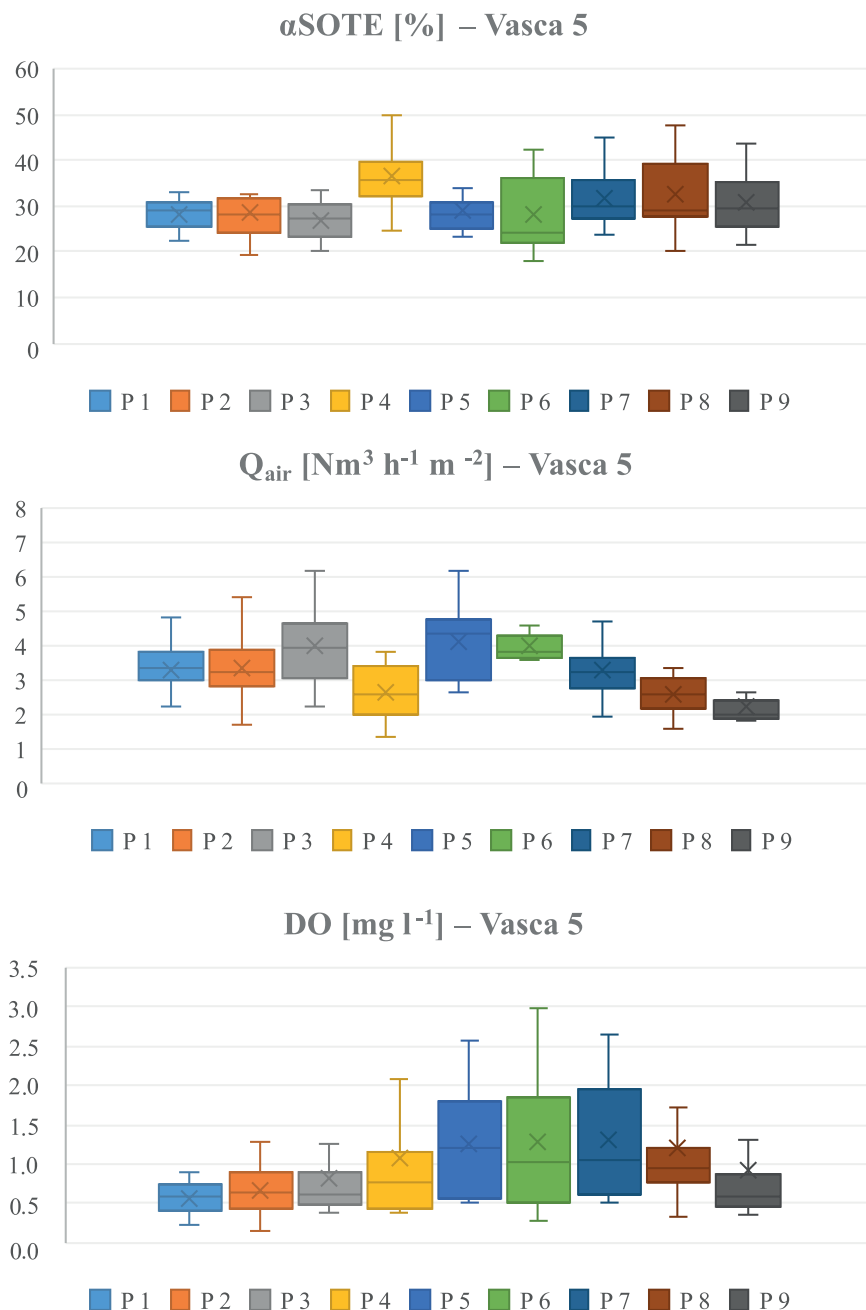


Figura 5 – Efficienza di trasferimento dell'ossigeno, α SOTE [%], portata d'aria, Q_{air} [$Nm^3 h^{-1} m^{-2}$], e ossigeno disciolto, DO [$mg l^{-1}$], nelle 9 posizioni della vasca 5

sori, piuttosto che la loro sostituzione, per ripristinare i livelli di α SOTE. Nell'ambito del progetto si prevede di valutare, infatti, se l'attuale strategia di sostituzione dei diffusori ogni 4 anni rappresenti la soluzione migliore, oppure se soluzioni alternative, come una pulizia annuale, potrebbero risultare più convenienti dal punto di vista della spesa energetica e delle emissioni indirette, nonché dei costi di manutenzione.

La distribuzione spaziale della portata d'aria è piuttosto variabile in entrambe le vasche, il valor medio è pari a $3.3 Nm^3 h^{-1} m^{-2}$ ($P_{0.25} = 2.8 Nm^3 h^{-1} m^{-2}$, $P_{0.75} = 3.7 Nm^3 h^{-1} m^{-2}$) in vasca 5 e pari a

$3.4 Nm^3 h^{-1} m^{-2}$ ($P_{0.25} = 2.9 Nm^3 h^{-1} m^{-2}$, $P_{0.75} = 3.8 Nm^3 h^{-1} m^{-2}$) in vasca 6. Per quanto riguarda la vasca 5, i valori sono mediamente uniformi nei primi 5 punti e, successivamente, tendono a diminuire nei punti finali a causa della minore densità di diffusori nella zona 3 della vasca (si veda Figura 3); mentre, in vasca 6 si osservano valori di portata inferiori a inizio e fine vasca e superiori al centro. I bassi valori che si riscontrano a inizio vasca 6, nonostante la maggiore densità di diffusori nella zona 1, sono probabilmente causati dal maggiore sporco delle membrane, che provoca maggiori perdite di carico concentrate, e dal gra-

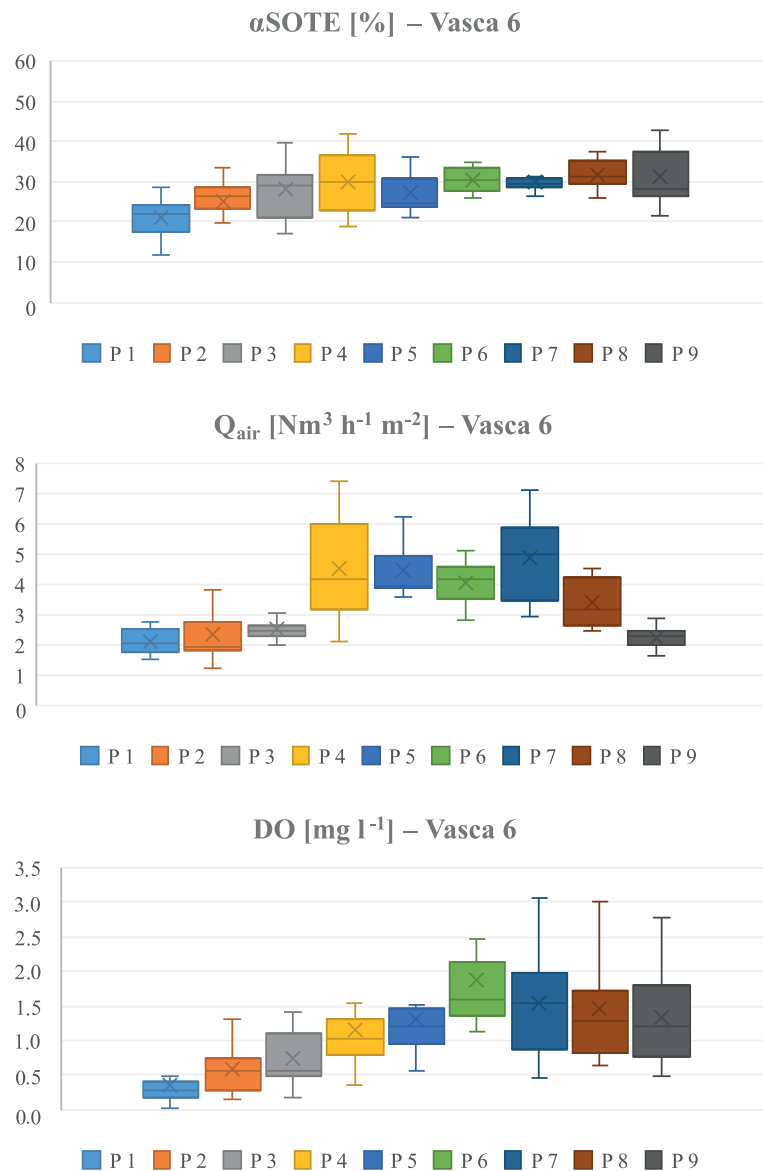


Figura 6 – Efficienza di trasferimento dell'ossigeno, α SOTE [%], portata d'aria, Q_{air} [$Nm^3 h^{-1} m^{-2}$], e ossigeno disciolto, DO [$mg l^{-1}$], nelle 9 posizioni della vasca 6

do di apertura della valvola manuale per la regolazione del flusso d'aria nella calata in vasca. Questo è concorde anche con i bassi valori di α SOTE riscontrati in alcuni punti nella prima sezione della vasca 6 la quale, come detto in precedenza, è equipaggiata con diffusori più datati e plausibilmente più sporchi. Per quanto riguarda l'ossigeno disciolto, si rileva un'elevata variabilità tra le diverse campagne, e il valor medio risulta essere pari a $1.01 mg l^{-1}$ ($P_{0.25} = 0.57 mg l^{-1}$, $P_{0.75} = 1.32 mg l^{-1}$) in vasca 5 e pari a $1.16 mg l^{-1}$ ($P_{0.25} = 0.89 mg l^{-1}$, $P_{0.75} = 1.25 mg l^{-1}$) per la vasca 6. In vasca 5, il profilo di DO segue un andamento a campana, con valori maggiori in centro vasca (punti 5, 6, 7) e inferiori a inizio e fine vasca (punti 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9). In vasca 6, il profilo è crescente fino al punto 6, e si stabilizza a valori leggermente inferiori

nei punti finali (7, 8, 9). Valori di ossigeno disciolto inferiori a inizio vasca, sono causati da un maggior consumo di ossigeno data la maggior presenza di sostanza organica e azotata biodegradabile nelle sezioni di ingresso; mentre, a fine vasca si registrano dei valori inferiori poiché nonostante il consumo di ossigeno sia più basso, lo è anche la portata d'aria insufflata come mostrato in precedenza.

In Figura 7 si riporta il valor medio delle tre grandezze misurate nel corso delle varie campagne; la portata d'aria, in questo caso, è pari a quella complessivamente insufflata in vasca ($Nm^3 h^{-1}$).

L' α SOTE nelle prime tre campagne di monitoraggio (maggio-giugno-ottobre 2019), pari a 33.4 % in vasca 5 e 32.5 % in vasca 6, risulta superiore a quello delle successive campagne (novembre 2019, gen-

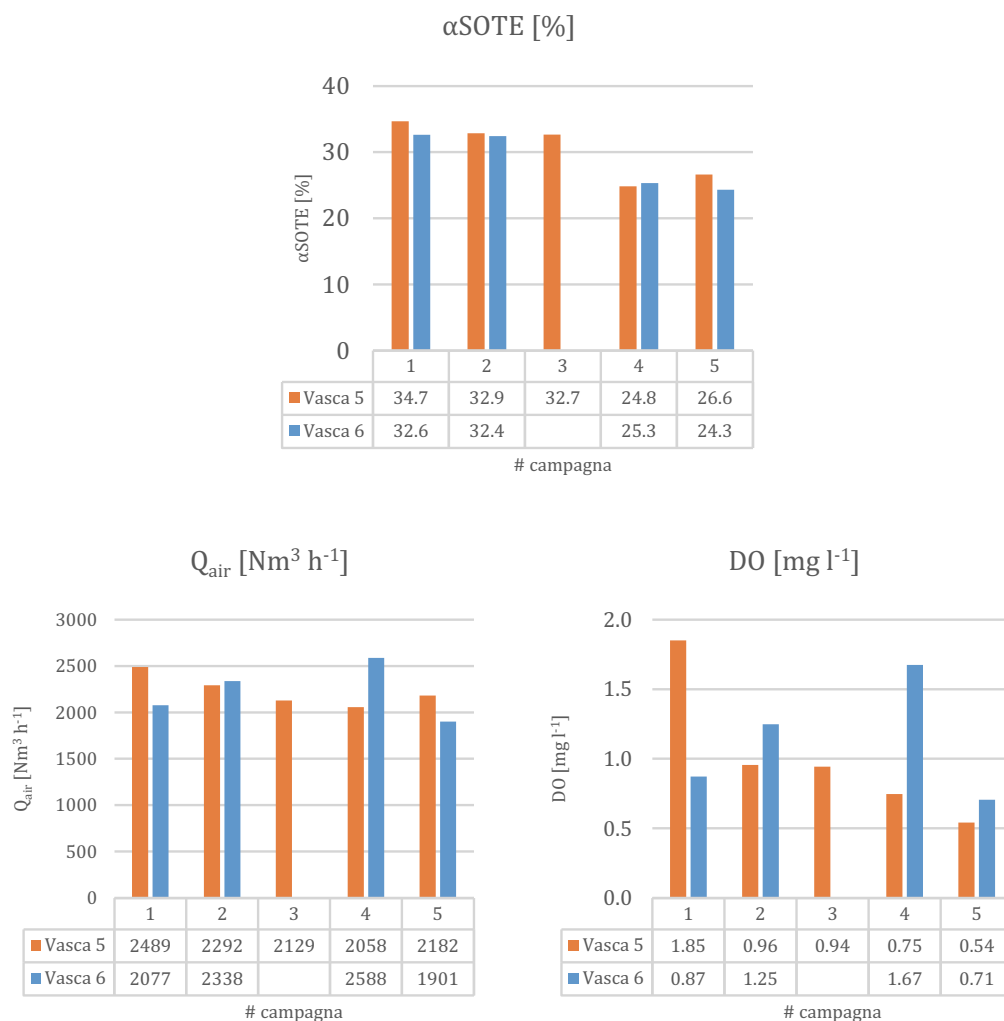


Figura 7 – Valori medi dell’efficienza di trasferimento dell’ossigeno, $\alpha SOTE$ [%], della portata d’aria, Q_{air} [Nm³ h⁻¹] e dell’ossigeno disciolto, DO [mg l⁻¹] nelle prove a punti in vasca 5 e vasca 6

naio 2020), pari a 25.7% in vasca 5 e 24.8% in vasca 6. Il rendimento dei sistemi di aerazione è influenzato dalla tipologia di refluo (es. concentrazione di tensioattivi) (Rosso e Stenstrom, 2006) e dalle condizioni di processo dell’impianto e dipende, essenzialmente, dalla portata d’aria, dall’età del fango (*Sludge Retention Time*, SRT) e dalla concentrazione di solidi nella miscela aerata (*Mixed Liquor Total Suspended Solids*, MLTSS), (Krampe e Krauth, 2003; Rosso et al., 2005). In particolare, ad un aumento della portata d’aria corrisponde una riduzione dell’efficienza di trasferimento dell’ossigeno poiché quest’ultima influenza il comportamento dinamico delle bolle; tuttavia, in questo caso specifico, tale correlazione non emerge dal momento che la portata d’aria tende anch’essa a diminuire nel corso delle campagne. Occorre precisare che l’aria insufflata durante le prove a punti è risultata piuttosto variabile, condizione che rende difficile identificare la reale correlazione con $\alpha SOTE$. Considerando un intervallo di tempo più ristretto (pochi minuti), co-

me quello di permanenza del LESSDRONE su ciascuna delle 9 posizioni, in cui la portata d’aria è sufficientemente costante, è stato calcolato che nel 60% delle prove effettuate, esiste una correlazione negativa tra portata d’aria e $\alpha SOTE$. Non si rileva, inoltre, una dipendenza con l’SRT dell’impianto dal momento che quest’ultimo lavora ad età del fango estremamente elevate (> 40 d) tali da non influenzare i livelli di $\alpha SOTE$ (Rosso et al., 2005), e, per la stessa ragione, è da escludere l’influenza negativa dovuta alla presenza di tensioattivi, i quali, da precedenti misure in ingresso alle vasche risultano estremamente bassi (< 3 mg/l). Infine, non è stata rilevata correlazione tra $\alpha SOTE$ e concentrazione di MLTSS, i cui valori, durante le prove, sono risultati compresi tra 8 e 12.5 kg m⁻³.

3.1.2. Emissioni di gas serra

Le Figure successive mostrano le emissioni di CO₂, N₂O e CH₄ rilevate nelle prove a punti in vasca 5 e in vasca 6.

Le emissioni di CO₂ risultano leggermente superiori in vasca 5 rispetto alla vasca 6 e sono mediamente pari a 175 (P_{0.25} = 136, P_{0.75} = 208) g CO₂ h⁻¹ m⁻² in vasca 5 e 173 (P_{0.25} = 158, P_{0.75} = 181) g CO₂ h⁻¹ m⁻² in vasca 6. Il loro andamento lungo il flusso in vasca è direttamente correlato alla portata d'aria per unità di superficie dal momento che è stata riscontrata una distribuzione pressoché uniforme della

concentrazione. Inoltre, è emersa, come atteso, una correlazione positiva (R² = 0.44) tra le emissioni di CO₂ (kg CO₂ d⁻¹) e il carico di COD biodegradabile (kg COD d⁻¹) in ingresso all'impianto nei giorni delle prove a punti.

Le emissioni di N₂O, mediamente pari a 0.028 (P_{0.25} = 0.001, P_{0.75} = 0.046) g N₂O h⁻¹ m⁻² in vasca 5 e 0.006 (P_{0.25} = 0.0, P_{0.75} = 0.007) g N₂O h⁻¹ m⁻²

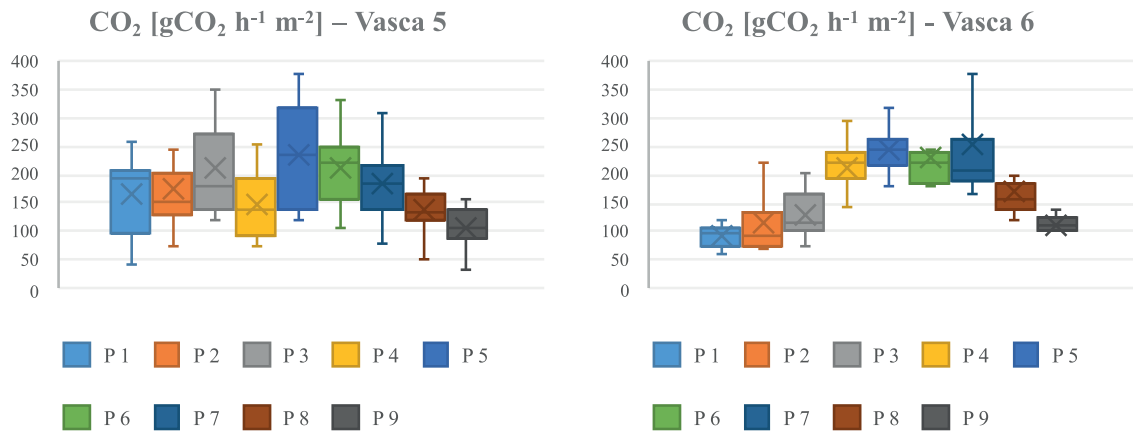


Figura 8 – Emissioni di CO₂ [g CO₂ h⁻¹ m⁻²], vasca 5 e vasca 6

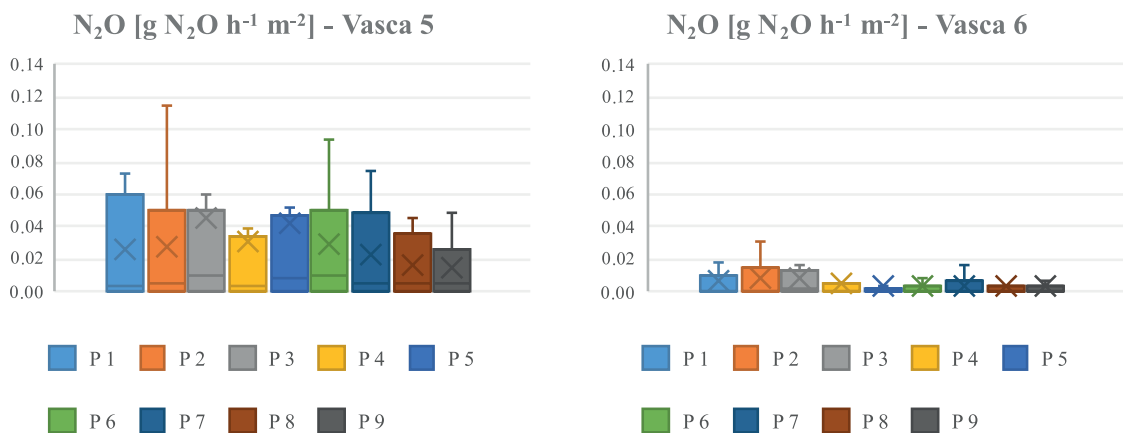


Figura 9 – Emissioni di N₂O [g N₂O h⁻¹ m⁻²], vasca 5 e vasca 6

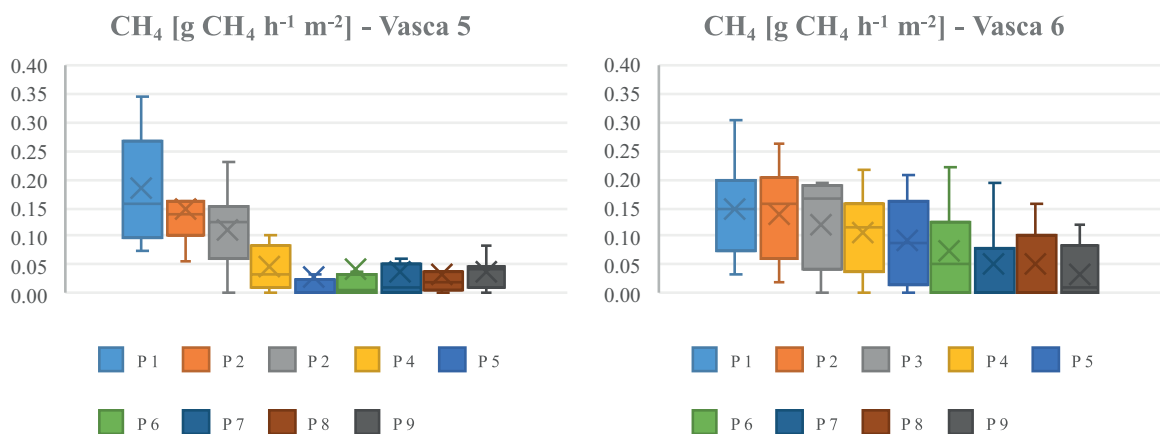


Figura 10 – Emissioni di CH₄ [g CH₄ h⁻¹ m⁻²], vasca 5 e vasca 6

in vasca 6, risultano uniformi e piuttosto contenute in entrambe le vasche. Il fattore di emissione (*Emission Factor*, EF), ossia la massa di N_2O che viene prodotta per unità di massa di $N-NH_4^+$ rimossa dal processo biologico, è risultato mediamente pari a $0.0014 \text{ kg } N_2O \text{ kg}^{-1} N-NH_4^+$, valore piuttosto contenuto ma comunque in linea con i valori di letteratura (Foley et al., 2010; Kampschreur et al., 2008).

Infine, le emissioni di CH_4 risultano mediamente pari a 0.073 ($P_{0.25} = 0.039$, $P_{0.75} = 0.098$) $\text{g } CH_4 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ in vasca 5 e 0.091 ($P_{0.25} = 0.032$, $P_{0.75} = 0.137$) $\text{g } CH_4 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ in vasca 6, valori inferiori a quelli di letteratura (Daelman et al., 2012). L'andamento è decrescente lungo il profilo delle vasche (soprattutto in vasca 5). Maggiori emissioni a inizio vasca sono attribuibili alla maggiore disponibilità di CH_4 disciolto in arrivo con l'influente (proveniente dalla vasca anossica) e con i surnatanti della linea fanghi.

I valori di concentrazione dei gas serra captati e analizzati dal LESSDRONE sono stati confrontati con quelli derivanti dai campioni prelevati mediante sacche in tedar e il discostamento tra i valori misurati durante le 5 campagne è risultato mediamente pari a 580 ppm (2%) per CO_2 , 8.4 ppm (18%) per CH_4 e 3 ppm (36%) per N_2O . Date le basse emissioni riscontrate per N_2O e CH_4 , l'errore di lettura dei sensori assume un peso ridotto nel computo delle emissioni di CO_2 equivalenti. Infatti, considerando il GWP dei tre gas, risulta che il 96% delle emissioni di $CO_2\text{eq}$ sono dovute alla CO_2 , mentre l' N_2O e il CH_4 contribuiscono, rispettivamente, con il 3% e 1%. Occorre sottolineare che le emissioni qui calcolate sono quelle relative alle vasche aerobiche del comparto biologico dell'impianto, mentre sono escluse le emissioni delle vasche anossiche che, da letteratura, risultano generalmente inferiori (Liu et al., 2014; Ren et al., 2015). Il LESSDRONE, infatti, è stato ideato e progettato per la valutazione delle emissioni di gas serra e dell'efficienza di trasferimento dell'ossigeno in sistemi con insufflazione di aria mediante diffusori posti sul fondo delle vasche, tuttavia, previa opportune modifiche del sistema di captazione dell'off-gas sarebbe possibile misurare le emissioni del comparto anossico.

3.2. Prove stazionarie

3.2.1. Efficienza di trasferimento dell'ossigeno

Durante le prove stazionarie la portata d'aria è stata lasciata libera di variare in funzione del mante-

nimento di un certo set-point di ossigeno disciolto (pari a 2 mg l^{-1}), così come previsto dall'ordinario sistema di gestione adottato dall'impianto. La portata d'aria insufflata, pertanto, dipende indirettamente dal carico biodegradabile (organico e azotato) influente.

In Figura 11 si riporta, a titolo d'esempio, l'andamento delle grandezze di interesse (αSOTE , Q_{air} , DO) durante una prova stazionaria in vasca 6.

Dalle prove stazionarie è emerso che l' αSOTE tende a variare ciclicamente nell'arco della giornata in funzione della portata d'aria: a partire dalla sera, la portata d'aria aumenta poiché aumenta il carico di sostanza organica in ingresso alle vasche (l'elevato tempo di ritenzione idraulico dell'impianto fa sì che il picco di carico influente sia traslato di circa 6 ore) e la richiesta di ossigeno del sistema. Viceversa l' αSOTE tende ad aumentare quando la portata d'aria diminuisce.

L'ossigeno disciolto varia entro un range limitato di valori ($1.7 - 2.1 \text{ mg l}^{-1}$) attorno al valore di set-point; si evidenzia una buona correlazione con la portata d'aria.

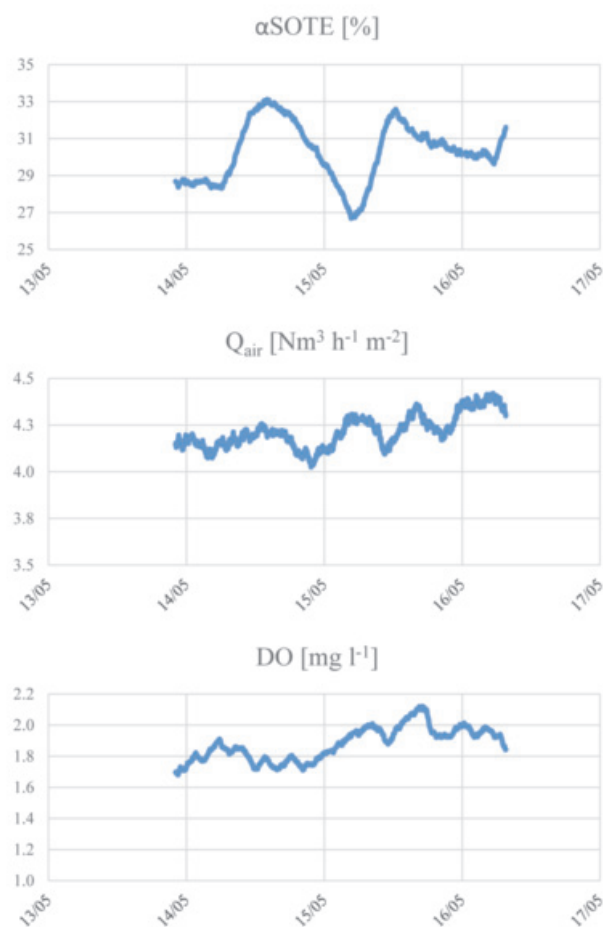


Figura 11 – Andamento temporale di αSOTE [%], Q_{air} [$\text{Nm}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$] e DO [mg l^{-1}], prova stazionaria vasca 6, campagna 1

3.2.2. Emissioni di gas serra

L'andamento delle emissioni di CO_2 durante le prove stazionarie ha rivelato una tendenza comune nelle diverse campagne; i valori di concentrazione (%) tendono, infatti, ad aumentare durante la notte fino ad un massimo intorno alle 8 del mattino; successivamente, l'andamento è decrescente fino alle 18 circa, come mostrato in Figura 12. L'andamento delle emissioni di CO_2 segue, inoltre, come lecito aspettarsi, quello della concentrazione di COD influente, e quindi del carico organico in ingresso alla vasca, come mostrato in Figura 13.

Le emissioni di CH_4 hanno andamento ciclico simile a quello della CO_2 (Figura 12), presumibil-

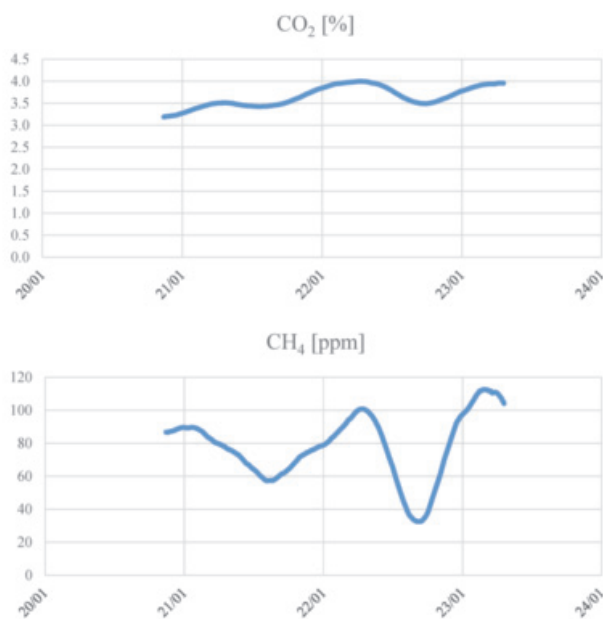


Figura 12 – Andamento delle emissioni di CO_2 [%] e CH_4 [ppm], prova stazionaria vasca 6, campagna 5

mente in relazione al fatto che il CH_4 disciolto, e poi strappato, aumenta parallelamente agli altri carichi inquinanti in ingresso.

Per quanto concerne le emissioni di N_2O , esse risultano piuttosto basse, dell'ordine di $2\text{-}3 \text{ gN}_2\text{O d}^{-1} \text{ m}^{-2}$, e si riscontra una riduzione delle emissioni a partire dalla terza campagna (ottobre 2019). Le emissioni risultano prevalentemente influenzate dalla concentrazione di ossigeno disciolto e dalla portata d'aria.

In Figura 14 si riporta l'andamento delle emissioni di N_2O , della concentrazione di ossigeno disciolto e della portata d'aria in una prova a punti della vasca 5. La concentrazione di ossigeno disciolto presenta un brusco calo intorno alle 11, probabilmente dovuto a un incremento dell'attività biologica a seguito dell'aumento del carico in ingresso, cui segue un aumento della portata d'aria (+33% in 6 ore) nel tentativo di ripristinare il set-point di ossigeno. Tuttavia, il DO rimane stabile $< 1 \text{ mg l}^{-1}$ nelle successive ore poiché il consumo dovuto all'attività biologica prevale sul trasferimento. Come risultato, le emissioni di N_2O tendono ad aumentare passando da 2 a $2.5 \text{ gN}_2\text{O d}^{-1} \text{ m}^{-2}$. Tale risultato è concorde con quanto riscontrato in letteratura (Tallec et al., 2008). Repentine variazioni delle condizioni di processo, infatti, possono causare un aumento delle emissioni di N_2O (Kampschreur et al., 2008), e, in condizioni di ossigeno limitanti ($< 1 \text{ mg l}^{-1}$), la produzione di N_2O è attribuibile al processo di denitrificazione da parte dei Batteri Ammonio Ossidanti (*Ammonia Oxidizing Bacteria*, AOB) (Tallec et al., 2006). Inoltre, all'aumentare della portata d'aria insufflata, aumenta lo strappaggio e, pertanto, le emissioni di N_2O dalla vasca di ossidazione.

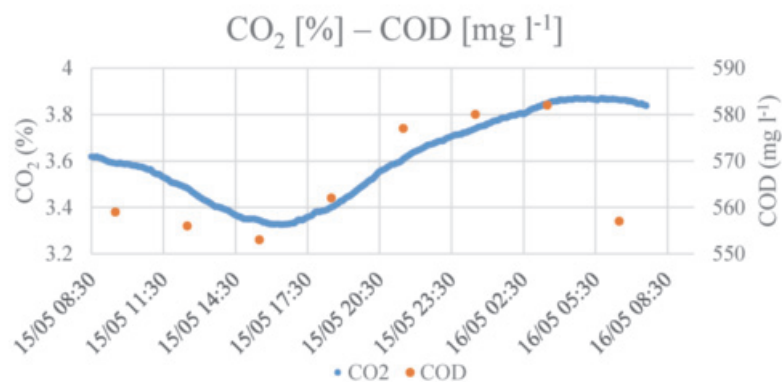


Figura 13 – Andamento delle emissioni di CO_2 [%] e variazione della concentrazione di COD [mg l^{-1}], prova stazionaria vasca 6, campagna 1

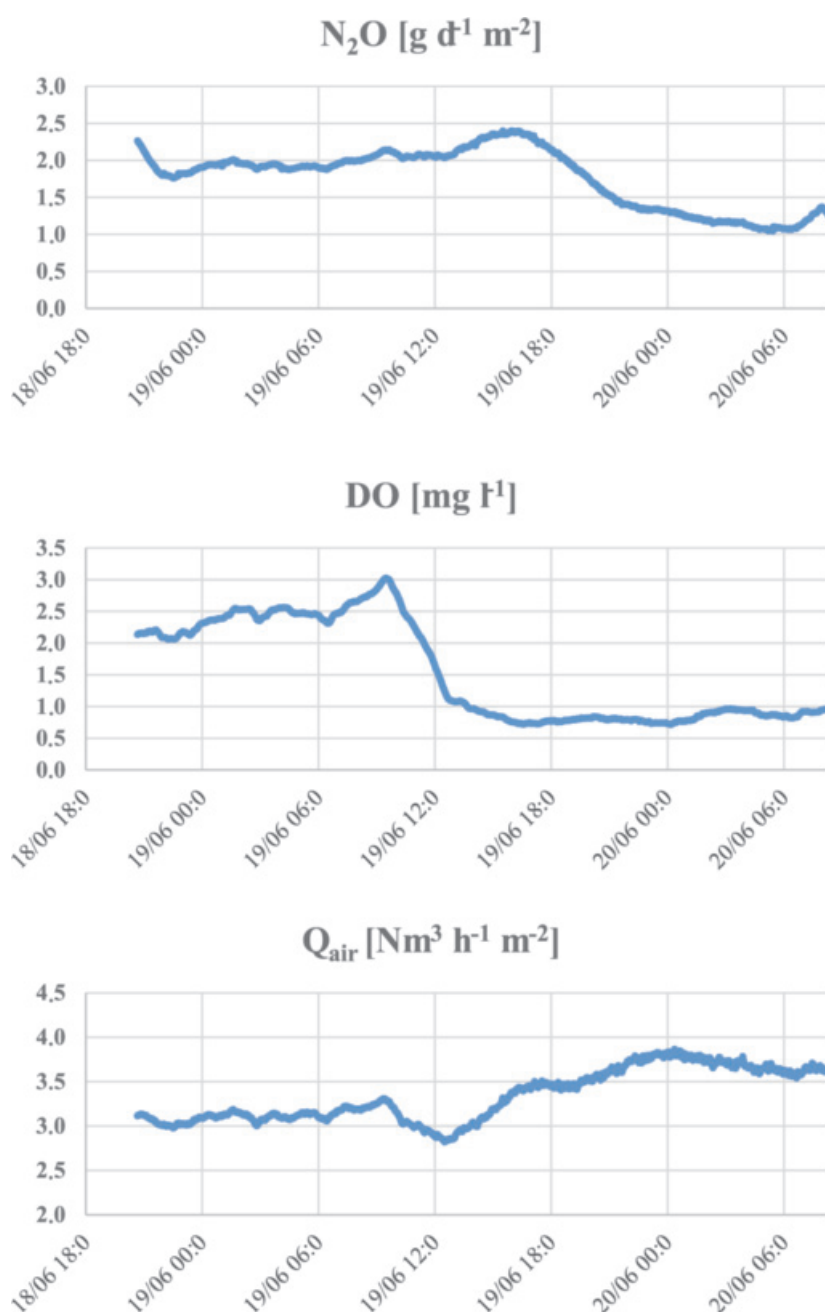


Figura 14 – Andamento delle emissioni di N_2O [$g\ N_2O\ d^{-1}\ m^{-2}$], DO [$mg\ l^{-1}$] e Q_{air} [$Nm^3\ h^{-1}\ m^{-2}$] prova stazionaria vasca 5, campagna 2

4. CONCLUSIONI

L'ottimizzazione dei processi di trattamento degli impianti di depurazione delle acque reflue rappresenta una possibilità concreta di riduzione dei consumi energetici e del CFP degli impianti. In particolare, i sistemi di aerazione sono responsabili del 50-60% dei consumi totali e una loro gestione efficace può apportare benefici sia ambientali che economici. Nell'ambito del progetto LIFE LESS-WATT, co-finanziato dall'Unione Europea, è stato progettato e realizzato il prototipo LESSDRONE

per il monitoraggio, nel tempo e nello spazio, dell'efficienza di trasferimento dell'ossigeno e delle emissioni dirette dai comparti di ossidazione degli impianti di depurazione.

Lo strumento, testato presso l'impianto di depurazione Cuioidepur, risulta agile da manovrare e, grazie all'elevato automatismo, consente di ridurre la presenza di personale necessario per le misure. Inoltre, rende possibile monitorare l'intera superficie delle vasche di ossidazione raggiungendo un maggior grado di precisione nelle stime, nonché una visione complessiva della distri-

buzione dei parametri monitorati. Le campagne di misura svolte presso Cuoiodepur hanno permesso di mettere a punto e ottimizzare le modalità e le procedure di svolgimento delle prove, sia nella sua parte *hardware* che nella parte *software*. I dati acquisiti risultano coerenti con le condizioni di processo dell'impianto e hanno consentito di approfondirne la conoscenza, inoltre, la bontà delle risposte emerse dai confronti con i dati rilevati dai sensori presenti sull'impianto (per portata d'aria) e dalle analisi eseguite sui campioni prelevati (per le emissioni dei gas serra), ha dimostrato che il LESSDRONE è in grado di misurare e stimare in maniera corretta i parametri di interesse. Attraverso l'utilizzo di questo strumento sarà possibile identificare le condizioni di processo (portata d'aria, DO, età del fango) in grado di ridurre le emissioni di GHGs complessive cui contribuiscono quelle dirette provenienti dalle vasche di ossidazione e quelle indirette legate ai consumi energetici. Conseguentemente ad una possibile diminuzione della portata d'aria da insufflare, ne trarrebbero beneficio anche le prestazioni del sistema di aerazione, che vedrebbe aumentare la sua efficienza di trasferimento dell'ossigeno. Il monitoraggio dell' α SOTE permetterebbe anche di ottimizzare le modalità e la frequenza di intervento per la pulizia e/o la sostituzione dei diffusori. La funzionalità e la versatilità della tecnologia proposta rappresentano un aspetto cruciale per garantire la sua trasferibilità ad altri impianti di depurazione che lavorano in differenti contesti operativi. Per tale ragione, il prototipo sarà testato e ottimizzato in ulteriori 5 impianti di depurazione europei, di cui 3 italiani e 2 nord-europei, al fine di confrontarsi con tecnologie impiantistiche e gestionali molto diversificate permettendo di realizzare un protocollo applicabile a una vasta gamma di tecnologie e condizioni operative.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Daelman M.R.J., van Voorthuizen E.M., van Dongen U.G.J.M., Volcke E.I.P., van Loosdrecht M.C.M. (2012) Methane emission during municipal wastewater treatment. *Water Research* 46, 3657-3670.
- Foley J., de Haas D., Yuan Z., Lant P. (2010) Nitrous oxide generation in full-scale biological nutrient removal wastewater treatment plants. *Water Research* 44, 831-844.
- Gori R., Balducci A., Caretti C., Lubello C. (2014) Monitoring the oxygen transfer efficiency of full-scale aeration systems: Investigation method and experimental results. *Water Science and Technology* 70, 8-14.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Science.
- IPCC (2013) *Anthropogenic and natural radiative forcing, in: Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. pag. 82.
- Kampschreur M.J., Temmink H., Kleerebezem R., Jetten M.S.M., van Loosdrecht M.C.M. (2009) Nitrous oxide emission during wastewater treatment. *Water Research* 43, 4093-4103.
- Kampschreur M.J., van der Star W.R.L., Wielders H.A., Mulder J.W., Jetten M.S.M., van Loosdrecht M.C.M. (2008) Dynamics of nitric oxide and nitrous oxide emission during full-scale reject water treatment. *Water Research* 42, 812-826.
- Krampe J., Krauth K. (2003) Oxygen transfer into activated sludge with high MLSS concentrations. *Water Science and Technology* 47, 297-303.
- Liu Y., Cheng X., Lun X., Sun D. (2014) CH₄ emission and conversion from A₂O and SBR processes in full-scale wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Sciences (China)* 26, 224-230.
- Mannina G., Ekama G., Caniani D., Cosenza A., Esposito G., Gori R., Garrido-Baserba M., Rosso D., Olsson G. (2016) Greenhouse gases from wastewater treatment – A review of modelling tools. *Science of the Total Environment* 551-552, 254-270.
- Metcalf W., Eddy C. (2003) *Metcalf and Eddy Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse McGraw Hill. New York, NY. 384.
- Redmon D., Boyle W.C., Ewing L. (1983) Oxygen transfer efficiency measurements in mixed liquor using off-gas techniques. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 55, 1338-1347.
- Ren Y., Wang J., Xu L., Liu C., Zong R., Yu J., Liang S. (2015) Direct emissions of N₂O, CO₂, and CH₄ from A/A/O bioreactor systems: impact of influent C/N ratio. *Environmental Science and Pollution Research* 22, 8163-8173.
- Rosso D., Iranpour R., Stenstrom M.K. (2005) Fifteen Years of Offgas Transfer Efficiency Measurements on Fine-Pore Aerators: Key Role of Sludge Age and Normalized Air Flux. *Water Environment Research* 77, 266-273.
- Rosso D., Stenstrom M.K. (2006) Surfactant effects on α -factors in aeration systems. *Water Research* 47, 1397-1404.
- Talleg G., Garnier J., Billen G., Gossailles M. (2006) Nitrous oxide emissions from secondary activated sludge in nitrifying conditions of urban wastewater treatment plants: Effect of oxygenation level. *Water Research* 40, 2972-2980.
- Talleg G. (2008) Nitrous oxide emissions from denitrifying activated sludge of urban wastewater treatment plants, under anoxia and low oxygenation. *Bioresource Technology* 99, 2200-2209.
- Vaccari M., Foladori P., Nembrini S., Vitali F. (2018) Benchmarking of energy consumption in municipal wastewater treatment plants – A survey of over 200 plants in Italy. *Water Science and Technology* 77, 2242-2252.

LA TRASFORMAZIONE DEL SETTORE ENERGETICO IN ITALIA

Claudia Cafaro^{1,*}, Paolo Ceci¹, Antonio Fardelli¹, Elisa Zazzu¹

¹ CNR-IIA – UOS c/o Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.

Sommario – In questi ultimi anni le politiche ambientali dei paesi più industrializzati si sono orientate verso interventi volti a ridurre le emissioni globali di gas a effetto serra per mitigare gli effetti sui cambiamenti climatici. Tra le principali azioni individuate risaltano quelle rivolte al settore energetico, finalizzate alla riduzione nell'utilizzo di combustibili fossili per la produzione di energia elettrica, a favore di combustibili meno inquinanti e fonti rinnovabili. In particolare, l'obiettivo a lungo termine è quello di raggiungere la totale decarbonizzazione dell'industria energetica, prevedendo una cessazione completa nell'utilizzo del carbone quale combustibile, poichè considerata una delle maggiori sorgenti di emissioni di gas climalteranti in atmosfera. In Italia gli scenari di decarbonizzazione dell'industria energetica sono stati ripresi e ribaditi in 2 documenti programmatici indirizzati al settore energetico: la Strategia Energetica Nazionale (SEN) e il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC); entrambi i documenti prevedono il *phase out* completo dal carbone al 2025, sopperendo al gap energetico con centrali alimentate a gas ed incrementando la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili. Questa scelta strategica ha dato origine ad una spinta a convertire e trasformare alcune delle centrali tradizionali che da decenni operano nel nostro Paese, per adeguarle agli standard produttivi richiesti nella SEN e nel PNIEC, sfruttando anche le possibilità offerte in tal senso dal *capacity market*, strumento nato per soddisfare la richiesta di energia elettrica, garantendo livelli ottimali di adeguatezza e sicurezza della rete nazionale; parallelamente per far fronte alla discontinuità nella fornitura energetica che caratterizza l'uso delle fonti rinnovabili, sono stati elaborati ed avviati progetti per la realizzazione di sistemi di accumulo, capaci di fornire energia in brevissimo tempo in caso di necessità. Tale contesto di riferimento, sta portando ad una evoluzione e trasformazione del sistema energetico italiano, passando da impianti di grandi dimensioni, progettati per una produzione continuativa e ininterrotta di energia da immettere in rete, a sistemi più agili e flessibili, capaci di far fronte a picchi di richiesta di energia intervenendo in tempi rapidi e garantendo così il mantenimento degli standard di adeguatezza del sistema elettrico nazionale. A supporto di tali valutazioni sono presentati ed illustrati dati ed informazioni in merito a specifici progetti mirati alla trasformazione del settore termoelettrico italiano, nonché i risultati delle aste del *capacity market* ad oggi conclusesi.

Parole chiave: transizione energetica, mercato delle capacità, decarbonizzazione, centrali termoelettriche, produzione di energia elettrica.

* Per contatti: Tel. 0657225018; Fax 0657225087.
E-mail: cafaro@iia.cnr.it.

THE TRANSFORMATION OF THE ENERGY SECTOR IN ITALY

Abstract – In the last years the environmental policies of the most industrialized countries are oriented towards actions to reduce global greenhouse gases emissions to mitigate the effects on climate change. Among the main intervention identified, there are actions directed to the energy sector, aimed to the reduction of the use of fossil fuel for energy production and to the promotion of the use of less polluting fuels and renewable sources. The final goal of these measures will be to achieve total decarbonisation of the energy industry, through the complete end of the use of coal as fuel, because it is considered one of the major sources of greenhouse gases emissions into the atmosphere. In Italy the decarbonisation scenarios of the energy industry have been taken into account in two planning documents addressed to the energy sector: *Strategia Energetica Nazionale (SEN)* and *Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC)*. The documents establish the complete phase out from coal by 2025, replaced by gas-fired power plants and energy produced from renewable sources. This strategic choice has boosted the conversion and transformation of some of the traditional plants operating in Italy, to adapt their equipment to the production standards required in the SEN and PNIEC, also taking advantage from the capacity market, a tool created to satisfy the electricity demand and to guarantee optimal levels of adequacy and safety of the national power grid. To deal with the discontinuity of the renewable sources to generate energy, were developed projects for the construction of storage systems, to supply energy in a short time if necessary. This context is leading to an evolution and transformation of the Italian energy system, going from large plants, planned for a continuous and uninterrupted production of energy for the grid, to more flexible systems, to support peaks in energy demand intervening quickly and ensuring adequacy standards of national electric system. To support these evaluations, data and information on specific projects aimed to transform the Italian thermoelectric sector are presented and illustrated, as well as the results of the capacity market auctions concluded.

Keywords: energy transition, capacity market, decarbonization, power plants, electricity production.

Ricevuto il 29-4-2020; Correzioni richieste il 28-5-2020; Accettazione finale il 16-6-2020.

1. INTRODUZIONE

La produzione di energia elettrica è uno dei settori che contribuisce maggiormente alle emissioni di gas a effetto serra, tale comparto industriale è in-

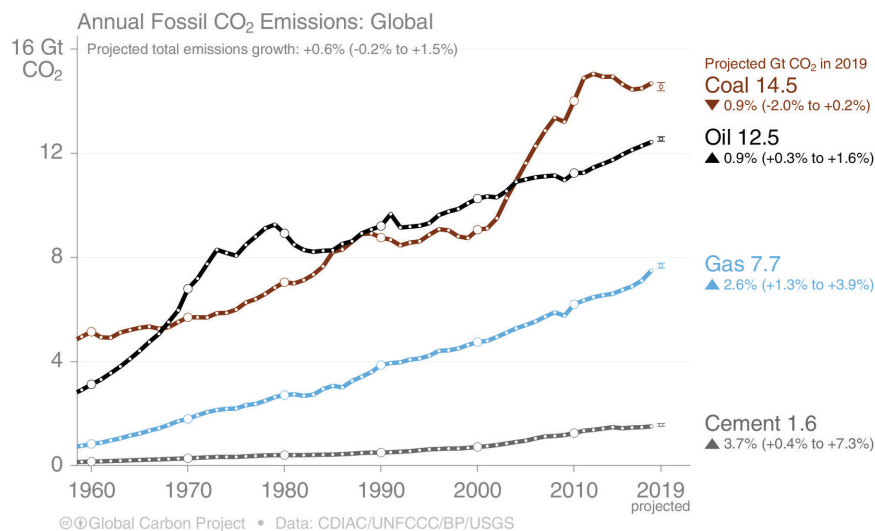


Figura 1 – Andamento delle emissioni globali di CO₂ (fonte dati: Global Carbon Project, 2019)

fatti singolarmente responsabile di circa il 30% delle emissioni globali rilevate (IPCC, 2014, US EPA, 2020). Inoltre le emissioni complessive di gas climalteranti provenienti dall'utilizzo di combustibili fossili in tutti i settori produttivi presentano negli anni un andamento sempre crescente (Fig. 1), incremento che appare particolarmente marcato in caso di utilizzo di carbone, considerando poi che in alcune parti del mondo, quali Cina ed India, dal 2000 ad oggi si è verificato un notevole incremento nella costruzione di centrali che utilizzano questo combustibile, che è quello che più di tutti contribuisce alle emissioni di gas serra in atmosfera (Global Energy Monitor, 2020).

L'apporto fornito dal carbone si riflette anche sul contributo totale alle emissioni di CO₂ riferito al

settore della produzione di energia elettrica che negli anni, a fronte della componente rappresentata dal gas solo in leggera crescita, risente fortemente del fattore legato all'uso del carbone; ciò si rispecchia anche nell'andamento in netta diminuzione previsto fino al 2040, legato al processo di decarbonizzazione in atto a livello mondiale (Fig. 2).

Proprio per provare ad arrestare o meglio ancora invertire questo trend di crescita, in alcune parti del mondo è stata intrapresa la strada della decarbonizzazione del settore energetico, inteso come il settore finalizzato alla produzione di energia elettrica, quale possibilità per fronteggiare la problematica dei cambiamenti climatici e ridurre gli effetti derivanti dall'utilizzo dei combustibili fossili.

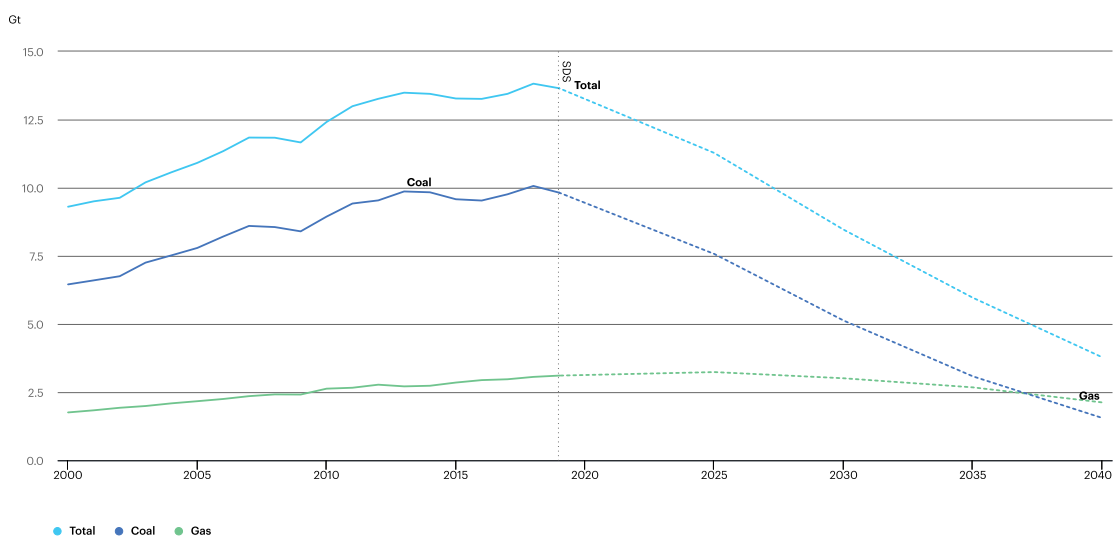


Figura 2 – Andamento storico e proiezione al 2040 delle emissioni globali di CO₂ dalla produzione di energia elettrica (fonte: IEA, 2020)

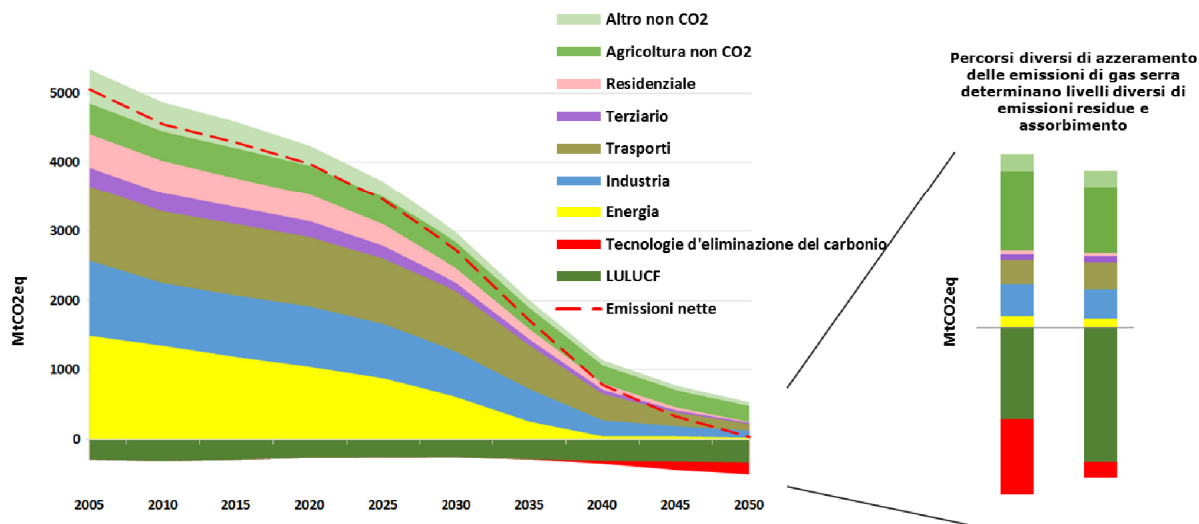


Figura 3 – Traiettorie delle emissioni di gas serra europee in uno scenario a 1,5 C (fonte: Commissione Europea, 2018)

Tali obiettivi sono stati affrontati anche nel congresso internazionale riunitosi a Parigi (COP21 – 21^a sessione della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici – UNFCCC e 11^a sessione del protocollo di Kyoto del 1997) nel dicembre 2015, al termine del quale è stato adottato un accordo universale e giuridicamente vincolante sul clima mondiale, individuando interventi di mitigazione volti alla riduzione drastica delle emissioni di gas a effetto serra in atmosfera, per limitare il fenomeno del riscaldamento globale.

Proprio per rispondere alla necessità di contrastare il riscaldamento globale e perseguire la sfida della decarbonizzazione nel prossimo decennio, l'Unione Europea ha messo a punto nel 2014 il "Pacchetto energia pulita per tutti gli europei", noto anche come "*Clean energy package*", un sistema di norme che interviene in modo organico su tutti gli aspetti delle politiche energetiche per regolamentare e facilitare il passaggio dall'utilizzo di combustibili fossili, verso forme di energia più pulita, ponendo attenzione in particolar modo ad aspetti quali quelli delle fonti rinnovabili, dell'efficienza energetica, della sicurezza energetica, e del mercato interno dell'elettricità. Il documento prevede tra l'altro l'individuazione di azioni funzionali al raggiungimento dei nuovi obiettivi europei al 2030 in materia energetica e un percorso di decarbonizzazione che porti l'Unione Europea entro il 2050 ad annullare tutte le emissioni nette di gas a effetto serra, obiettivo al centro anche dei presupposti del *Green Deal* europeo, l'ambiziosa proposta della Commissione Europea che propone specifiche misure che indirizzeranno le produzio-

ni energetiche e gli stili di vita della popolazione verso l'utilizzo sempre più limitato di risorse naturali fino a raggiungere un livello zero di emissioni nette di gas climalteranti in atmosfera provenienti dall'utilizzo di combustibili fossili solidi e liquidi (Fig. 3).

In questo contesto ogni Stato dell'Unione è chiamato a contribuire al raggiungimento degli obiettivi comuni individuati, attraverso la fissazione di propri target da perseguire al 2030.

In Italia in linea con gli orizzonti temporali europei e con le politiche di progressivo abbandono dei combustibili fossili nel settore energetico, è stato accelerato il processo di decarbonizzazione, prevedendo la cessazione entro il 2025 dell'utilizzo del carbone come combustibile e l'incentivazione di forme di produzione di energia ambientalmente più sostenibili, ricorrendo all'uso di combustibili meno inquinanti come il gas naturale e sfruttando al massimo fonti di energia rinnovabili.

2. CONTESTO NAZIONALE PROGRAMMATICO DI RIFERIMENTO

2.1. La Strategia Energetica Nazionale e il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima

Con decreto del Ministero dello sviluppo economico, di concerto con il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, è stata adottata a novembre 2017 la Strategia Energetica Nazionale (SEN) che si prefigge il raggiungimento di traguardi di efficienza del sistema energetico e di crescita sostenibile, avviando un'azio-

ne decisa di contrasto ai cambiamenti climatici. Obiettivo principale della SEN è quello di intervenire sul sistema energetico italiano per attuare nei prossimi anni una transizione verso fonti energetiche ambientalmente più sostenibili; che apportino cioè un contributo via via meno significativo alle emissioni in atmosfera, garantendo al contempo il mantenimento di adeguati standard di sicurezza della rete elettrica. Il raggiungimento di tale obiettivo passa attraverso la decarbonizzazione del settore della produzione di energia elettrica, la strategia energetica infatti prevede che entro il 2025 sia realizzata la completa cessazione dell'utilizzo del carbone come combustibile per la produzione di energia elettrica. Tale scelta strategica implica che l'intera capacità produttiva italiana riconducibile alle centrali termoelettriche alimentate a carbone, pari a 8 Gigawatt elettrici totali, dovrà essere sostituita con altre produzioni energetiche che la SEN individua nelle centrali alimentate a gas, che dovranno aumentare la propria capacità di circa 1,5 Gigawatt, e in impianti che utilizzano energie rinnovabili, che dovranno arrivare a coprire il 55% del consumo nazionale interno lordo di elettricità. Tali misure si traducono in una graduale trasformazione del sistema energetico nazionale, che prevenderà nei prossimi 5 anni, la progressiva chiusura dei gruppi energetici tradizionali alimentati a carbone e la contestuale riconversione o realizzazione di nuovi impianti tecnologicamente più avanzati alimentati a gas; parallelamente dovrà essere anche incentivata la costruzione di impianti che sfruttano energie rinnovabili di varia origine per la produzione energetica. Il carbone attualmente ricopre circa il 15,6% della produzione elettrica lorda nazionale di origine termica, con un apporto in termini di CO₂ equivalente in atmosfera del 27% sul totale delle emissioni provenienti dal settore termoelettrico. Contributo che si andrà ad azzerare nei prossimi 5 anni, in parte compensato dall'aumento della produzione di energia mediante impianti a gas e dall'intensificarsi dell'utilizzo delle fonti rinnovabili (ISPRA, 2019).

Le fonti rinnovabili assumono pertanto un ruolo centrale nell'attuazione del processo di decarbonizzazione come soluzione che garantisca la riduzione delle emissioni di gas serra, infatti lo sviluppo di questi impianti potrà portare ad un significativo incremento dello sfruttamento di tutte le tipologie di energie rinnovabili, con particolare crescita per l'eolico e il fotovoltaico anche in vir-

tù della riduzione dei costi dell'energia proveniente da questi due sorgenti energetiche (la SEN stima che il progresso tecnologico potrà ridurre ulteriormente i costi di produzione dell'energia elettrica del 40-70% per il fotovoltaico e del 10-25% per l'eolico).

Nello specifico, per quanto riguarda le quote di produzione di energia da fonti rinnovabili, gli obiettivi fissati dalla SEN sono i seguenti:

- 28% di rinnovabili sui consumi finali lordi al 2030, rispetto al 17,5% del 2015;
- 55% di rinnovabili elettriche sui consumi finali lordi al 2030, rispetto al 33,5% del 2015;
- 30% di rinnovabili termiche sui consumi finali lordi al 2030, rispetto al 19,2% del 2015;
- 21% di rinnovabili nei trasporti al 2030, rispetto al 6,4% del 2015.

Il processo di transizione energetica sopra descritto potrà essere realizzato soltanto se accompagnato dalla realizzazione di opportuni interventi infrastrutturali di interconnessione della rete elettrica nazionale, ciò per mantenere la sicurezza del sistema anche in casi di picchi di richiesta energetica, senza dover ricorrere all'attuale porzione di approvvigionamento energetico garantito dagli impianti a carbone. A tale proposito la SEN individua un elenco di opere di collegamento della rete la cui realizzazione è considerata necessaria per l'attuazione della decarbonizzazione del settore energetico.

Gli interventi attuativi individuati nella SEN sono stati ripresi e ribaditi nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), il cui testo definitivo è stato pubblicato il 21 gennaio 2020. Il Piano, predisposto dal Ministero dello Sviluppo Economico, con il Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare e il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, definisce gli obiettivi nazionali e le concrete linee di azione da realizzare per il conseguimento degli obiettivi europei in materia di energia e clima per il prossimo decennio (2021-2030). Tale documento individua un percorso che condurrà ad una trasformazione economico/energetica in linea con i principi di tutela ambientale, in termini di decarbonizzazione, economia circolare, uso efficiente e razionale delle risorse naturali. Per quanto riguarda il settore della produzione di energia elettrica il PNIEC riprende e persegue i presupposti già individuati dalla SEN: il *phase out* dal carbone come combustibile entro il 2025 e il ricorso sempre maggiore alle energie da fonti rinnovabili, soprattutto fotovoltaico ed eolico, che entro il 2030 dovranno sod-

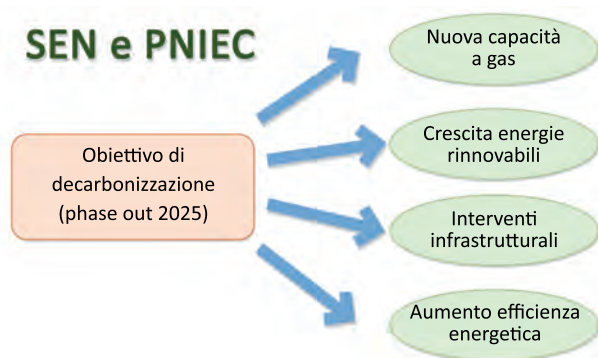


Figura 4 – Struttura del processo di decarbonizzazione in Italia previsto da SEN e PNIEC

disfare fino al 55% del consumo nazionale interno lordo di elettricità. Sul fronte della domanda energetica prevede un 30% di consumi finali lordi di energia coperti da Fonti Energetiche Rinnovabili (FER) da raggiungere entro il 2030. Ripartendo la domanda nei diversi settori chiave, il contributo delle FER risulta così differenziato: un 55% di quota rinnovabile nel settore elettrico, un 33,9% nel settore termico (riscaldamento e raffrescamento) e un 22% per quanto riguarda il settore dei trasporti.

Per quanto SEN e PNIEC abbiano una natura diversa, la SEN è un documento programmatico di livello nazionale, mentre il PNIEC uno strumento previsto in sede europea, sono due documenti sostanzialmente sovrapponibili per quel che riguarda gli obiettivi individuati e le misure delineate per raggiungerli (Fig. 4). Tali obiettivi sono stati pertanto ripresi e tradotti in prescrizioni anche all'interno delle autorizzazioni integrate ambientali (AIA) che regolamentano l'esercizio delle principali attività industriali in Italia e che per le centrali a carbone confermano la possibilità di utilizzo del carbone come combustibile soltanto fino al 31 dicembre 2025 (Cafaro et al., 2015).

È però doveroso ricordare che il massiccio utilizzo di risorse rinnovabili, che rappresentano una fonte di energia non programmabile e prodotta in impianti di piccole dimensioni, incrementa le difficoltà di gestione della rete, richiedendo un sistema capillare di interconnessioni e una modalità flessibile per garantirne in ogni momento il bilanciamento. Pertanto, la dismissione delle centrali a carbone e il potenziamento di impianti da energie rinnovabili, potrà essere attuato soltanto con la costruzione di elettrodotti, che garantiscano una adeguata capacità di transito tra diverse zone, e con la realizzazione di sistemi di accumulo e stoccaggio che mettano a disposizione riserve di energia uti-

lizzabile nei momenti di naturale indisponibilità (ore notturne, periodi invernali, condizioni meteorologiche avverse, etc.) della fornitura delle risorse rinnovabili.

Tali interventi infrastrutturali sono delineati in maniera puntuale e costituiscono presupposto alla base della possibilità di realizzare la trasformazione del sistema elettrico italiano prescindendo dalle attuali tradizionali forme di produzione energetica.

2.2. Il Capacity Market

L'attuazione delle politiche di transizione energetica potrà avvenire preservando le condizioni di adeguatezza e stabilità del sistema elettrico italiano; pertanto, in breve tempo, dovranno essere realizzati interventi che consentano di raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione previsti, garantendo al contempo il mantenimento degli adatti standard di sicurezza nel settore della produzione di energia elettrica. In tale scenario diventa essenziale poter disporre di capacità produttiva programmabile con funzioni di *back-up*, per poter compensare le fluttuazioni nella produzione di energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili, al fine di garantire la sicurezza e assicurare la copertura per l'intera domanda nazionale di energia.

In quest'ambito si colloca il *capacity market* o mercato delle capacità, che nasce come meccanismo per la regolazione della generazione di energia elettrica, al fine di garantire in ogni momento il mantenimento di risorse energetiche disponibili, in grado di sostenere picchi nelle richieste di fornitura energetica ed evitare possibili situazioni di blackout.

La disciplina del *capacity market* prevede che sia assicurata in ogni circostanza l'affidabilità del sistema elettrico in termini di adeguatezza, definita come la capacità strutturale del sistema di soddisfare il fabbisogno di energia elettrica nel rispetto di prefissati livelli di qualità, e sicurezza, ossia la capacità del sistema elettrico di fronteggiare repentine fluttuazioni dello stato di funzionamento del sistema.

Il mercato delle capacità è stato disciplinato per la prima volta in Italia con il decreto legislativo n. 379 del 19/12/2003 "*Disposizioni in materia di remunerazione delle capacità di produzione di energia elettrica*" che prevede un sistema di remunerazione, basato su meccanismi di mercato trasparenti e concorrenziali, finalizzato al raggiungimento e mantenimento di una capacità pro-

duttiva complessiva adeguata a garantire la copertura della domanda energetica nazionale, comprensiva anche dei necessari margini di riserva. Tale sistema di remunerazione è stato da ultimo regolamentato nel decreto del Ministero dello Sviluppo economico del 28/06/2019, che disciplina le modalità di attuazione dell'attribuzione della porzione di capacità energetica messa a disposizione. Il sistema del *capacity market* prevede una remunerazione differenziata per gli impianti di produzione che imposteranno la propria attività sulla possibilità di intervenire rapidamente quando chiamati a fornire energia alla rete, ed è potenzialmente indirizzato sia agli impianti tradizionali alimentati a gas, che agli impianti alimentati con fonti rinnovabili, purchè sia garantito un ridotto apporto di emissioni di CO₂ in atmosfera per la produzione di elettricità. La riforma del mercato elettrico europeo introduce infatti un nuovo standard emissivo per le centrali a combustibili fossili che parteciperanno al *capacity market*, il cosiddetto EPS (*Emission Performance Standard*), dovranno cioè rispettare un limite massimo emissivo di 550 grammi di CO₂ per kWh; questo limite attualmente applicato solamente ai nuovi impianti, dal 1° luglio 2025 diventerà vincolante anche per quelli esistenti.

Il *capacity market* funziona attraverso un sistema di aste pubbliche nel quale, per ogni megawatt di potenza destinata al mercato delle capacità verrà riconosciuto un corrispondente controvalore economico, le società operanti nel settore energetico possono partecipare a tali aste presentando proposte progettuali per aggiudicarsi l'opzione su porzioni della capacità produttiva messa all'asta e

con la condizione di dover realizzare i progetti entro determinati intervalli temporali. Le procedure concorsuali sono gestite da Terna che determina l'entità della capacità da mettere all'asta necessaria per garantire il livello richiesto di sicurezza nell'approvvigionamento e nel funzionamento della rete.

Ad esito delle aste verranno aggiudicate tra i diversi partecipanti porzioni della capacità da assegnare; per ciascun MW di capacità impegnata, gli operatori riceveranno un premio (€/kW/anno). Tali assegnazioni avvengono con quattro anni di anticipo rispetto al periodo di consegna; questo anticipo è funzionale ad assicurare la massima concorrenza e partecipazione al mercato consentendo la presentazione anche di progetti per impianti ancora da realizzare. Nel corso del 2019 sono state condotte 2 aste per l'assegnazione di significative quote di capacità elettrica soprattutto a livello nazionale, ma in parte anche indirizzata al mercato estero. La prima asta, effettuata il 6 novembre, era indirizzata a proposte con anno di consegna 2022, la seconda asta, del 28 novembre ha riguardato i progetti con consegna prevista per il 2023 (Tab. 1).

2.3. Accumulo di energia

Gli impianti di produzione elettrica che sfruttano le fonti rinnovabili sono per loro natura condizionati dal verificarsi di determinate condizioni climatiche che consentano di innescare e mantenere il processo di produzione di energia elettrica, pertanto non garantiscono un funzionamento continuativo, ma hanno un'attività intermittente che si concentra

Tabella 1 – Mercato delle capacità: esiti delle aste (fonte dati: TERNA)

ASTE	PRIMA ASTA – 6/11/2019	SECONDA ASTA – 28/11/2019
Assegnazioni	40,9 GW 36,5 GW di capacità nazionale 4,4 GW di capacità estera (Tutta la capacità offerta a livello nazionale è stata assegnata)	43,4 GW 39 GW di capacità nazionale 4,4 GW di capacità estera (Tutta la capacità offerta a livello nazionale è stata assegnata)
	1 GW dei 36,5 GW di capacità nazionale assegnata è relativo a fonti rinnovabili non programmabili	1,3 GW dei 39 GW di capacità nazionale assegnata è relativo a fonti rinnovabili non programmabili
Costo totale annuo	1,3 Mld€ (di cui 19,2 Mln€ per la capacità estera)	1,5 Mld€ (di cui 19,4 Mln€ per la capacità estera) a cui occorre aggiungere il costo della capacità nuova già assegnata con l'asta 2022, pari a 133 mln€
Premio di valorizzazione	33 k€/MW/anno capacità esistente 75 k€/MW/anno capacità nuova 4,4 k€/MW/anno capacità estera In tutte le Aree Nazionali il premio marginale è pari a 75 k€/MW/anno	33 k€/MW/anno capacità esistente 75 k€/MW/anno capacità nuova 4,4 k€/MW/anno capacità estera In tutte le Aree Nazionali il premio marginale è pari a 75 k€/MW/anno
Partecipanti	I partecipanti con maggiore capacità assegnata nazionale sono Enel Produzione (9,6 GW), A2A (4,8 GW), Edison (3,8 GW)	I partecipanti con maggiore capacità assegnata nazionale sono Enel Produzione (11,8 GW), A2A (5 GW), Eni (3,8 GW)

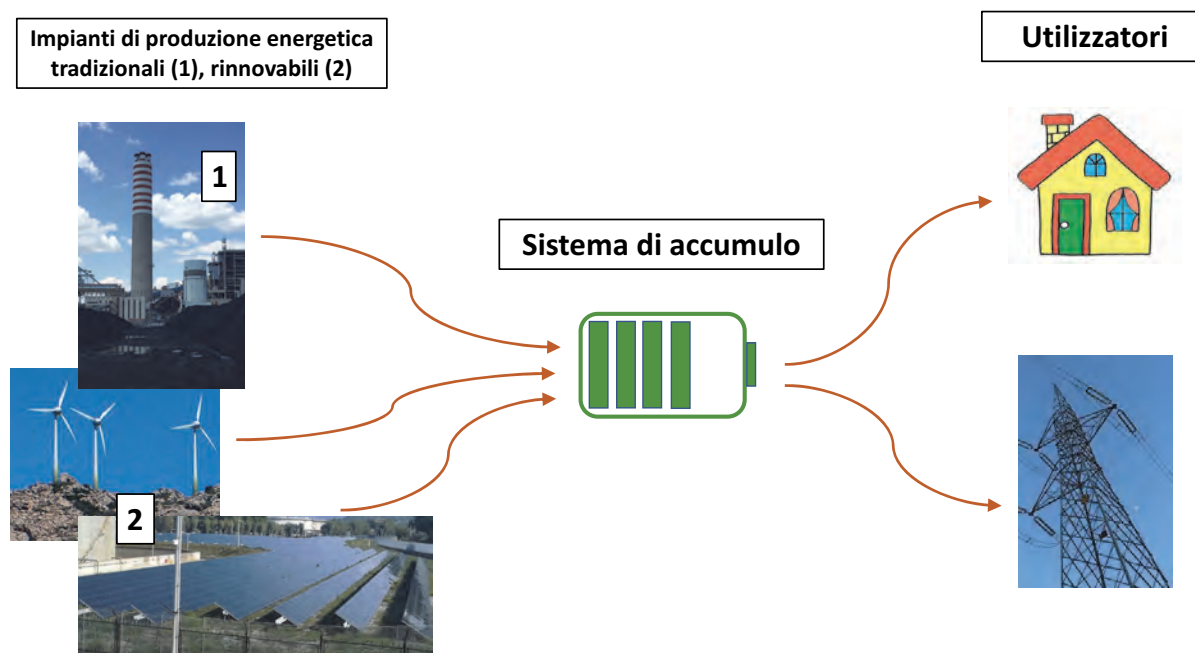


Figura 5 – Processo di accumulo dell'energia

soprattutto in alcune stagioni dell'anno (fotovoltaico, idroelettrico) o con determinate condizioni meteorologiche (eolico). Il ricorso sempre più massiccio a queste forme energetiche, sicuramente più sostenibili ambientalmente, genera problematiche in termini di sicurezza della rete che deve poter in ogni momento contare su una disponibilità di potenza elettrica in grado di coprire il fabbisogno dell'intero Paese. Nasce allora l'esigenza di associare ad impianti di produzione di energia, adeguati sistemi di accumulo, per poter immagazzinare il surplus energetico prodotto nei periodi ottimali e poterlo poi utilizzare per mantenere il livello di fornitura elettrica nei momenti di fermo impianto (Murty, 2017).

Per sistema di accumulo si intende un insieme di dispositivi e apparecchiature funzionale ad assorbire e rilasciare energia elettrica all'occorrenza, in maniera veloce e flessibile, parallelamente all'erogazione proveniente dalla rete. L'energia accumulata da questi sistemi può provenire sia da impianti che utilizzano fonti rinnovabili, che da tradizionali centrali di produzione di energia elettrica a gas, consentendo in entrambi i casi una gestione ottimale nel funzionamento degli impianti. La disponibilità di sistemi di accumulo infatti permette anche alle centrali termoelettriche di lavorare nelle migliori condizioni operative, potendo immagazzinare l'energia eccedente durante i periodi di normale esercizio degli impianti ed evitando di dover ricorrere a continue fasi di avvio e arresto dei grup-

pi, per fronteggiare situazioni di improvvisa richiesta di fornitura di energia elettrica (Fig. 5). Questa possibilità è stata indicata anche da Terna, in qualità di gestore della rete, quale una delle possibili soluzioni per garantire la sostenibilità e l'adeguatezza del sistema elettrico in ogni momento dell'anno.

Per tale motivo molti Gestori italiani di centrali termoelettriche in esercizio, hanno proposto progetti per l'installazione di sistemi di accumulo a batterie, così da permettere ai gruppi di produzione di energia di immettere il surplus energetico prodotto nel sistema di accumulo e poter svolgere così anche un'importante azione di regolazione della rete elettrica. Si tratta per lo più di sistemi di accumulo elettrochimico (BESS: Battery Energy Storage System) che scambiano energia elettrica con l'esterno senza alcuna produzione di emissioni, caratterizzati da prestazioni dinamiche, che rappresentano pertanto una soluzione ideale per l'integrazione e l'utilizzo a fianco degli impianti di produzione energetica sia da fonti rinnovabili che tradizionali a gas.

3. "RISULTATI E DISCUSSIONE"

In Italia, l'avvio delle azioni programmatiche improntate all'attuazione del processo di transizione energetica, che comporterà una sostanziale trasformazione nelle modalità di produzione e distribuzione dell'energia elettrica, si è tradotto in un

grande fermento progettuale, che ha portato gli operatori del settore energetico ad elaborare soluzioni impiantistiche tali da consentire di produrre energia in linea con le indicazioni di decarbonizzazione dettate dalla SEN e dal PNIEC e con le esigenze di mercato regolamentate dal *capacity market*.

In questo ambito molte delle società che operano in Italia nel settore della produzione di energia, hanno presentato al Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare progetti da sottoporre a procedimenti di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) per ottenere l’autorizzazione sia alla realizzazione di nuovi impianti, che alla riconversione di impianti esistenti, rispondenti alle recenti esigenze di carattere ambientale e tecnologico.

Questi progetti riguardano innanzitutto le attuali centrali a carbone, che dovranno cessare l’utilizzo di questo combustibile nel 2025, per le quali sono stati previsti progetti di trasformazione in impianti di ultima generazione alimentati a gas. Attualmente in Italia sono presenti 8 centrali alimentate a carbone in esercizio e per quasi tutte sono stati proposti progetti con assetti futuri che prevedono la sostituzione degli attuali gruppi tradizionali con turbine a gas tecnologicamente avanzate, che garantiscano cioè un funzionamento con elevate prestazioni ambientali e con tempi di entrata in esercizio rapidi (Cafaro *et al.*, 2017). Tali progetti di trasformazione a gas riguardano la maggior parte delle attuali centrali a carbone con le uniche eccezioni rappresentate dalla centrale di Brescia, poiché il gruppo di produzione è di tipo policombustibile e pertanto già in grado di lavorare a gas, e dalle due centrali operanti in Sardegna dato che allo stato attuale l’isola non è raggiunta dalla rete nazio-

nale di distribuzione del metano; questo aspetto potrà rappresentare una reale criticità nel garantire la sicurezza della rete elettrica sarda, nel momento in cui verrà meno il contributo di energia elettrica fornito oggi dagli impianti di combustione a carbone (Tab. 2).

Altre tipologie di progetti presentati riguardano invece la realizzazione di nuovi impianti a gas che come previsto dalla SEN e dal PNIEC dovranno affiancare le fonti rinnovabili nella produzione di energia necessaria a coprire il fabbisogno nazionale, in sostituzione degli impianti tradizionali destinati alla chiusura. Questi nuovi impianti termoelettrici sono pensati per rispondere ai requisiti di flessibilità necessari per garantire la sicurezza e la stabilità della rete elettrica nazionale. Pertanto, non saranno più come in passato impiegati per produrre energia elettrica in maniera continuativa, ma entreranno in esercizio in caso di necessità e richiesta da parte della rete, lavorando per un numero limitato di ore annue, ma assicurando una rapida risposta quando chiamati ad intervenire (Tab. 3).

Si parla in questi casi di impianti *peaker*, impianti cioè pensati per far fronte ai picchi nella richiesta di energia e garantire così il bilanciamento della rete. Sono impianti alimentati a gas naturale con turbine di tipo OCGT (*Open Cycle Gas Turbine*) che producono energia con una tecnologia che consente il raggiungimento di un’elevata efficienza produttiva, con tempi rapidi di entrata in esercizio e una contenuta emissione di inquinanti in atmosfera (Breeze, 2016). In alcuni dei progetti presentati poi, parte dell’alimentazione dell’impianto può avvenire con pannelli fotovoltaici, riducendo ulteriormente l’apporto inquinante nel territorio circostante e rappresentando un esempio di integrazio-

Tabella 2 – Centrali a carbone in Italia: assetti attuali e progetti futuri (fonte dati: MATTM – Portale VAS-VIA-AIA)

Centrali a carbone	Assetto attuale		Progetto di conversione a gas	
	Numero gruppi	Potenza termica (MWt)	Numero gruppi	Potenza termica (MWt)
Torrevaldaliga Nord Civitavecchia (RM)	3	1.420 (ciascuno)	2	1.350 (ciascuno)
Brindisi	4	1.640 (ciascuno)	2	1.350 (ciascuno)
Monfalcone (GO)	2	1 gruppo da 418 1 gruppo da 433	1	1.350
Fusina Porto Marghera – Venezia	4	2 gruppi da 792,8 1 gruppo da 415,2 1 gruppo da 430,8	1	1.350
Lamarmora – Brescia	1	200 (gruppo policombustibile)	-	-
La Spezia	1	1.540	1	1.350
Sulcis – Portoscuso	2	1 gruppo da 800 1 gruppo da 670	-	-
Fiume Santo (SS)	2	800 (ciascuno)	-	-

Tabella 3 – Nuovi progetti di centrali termoelettriche sottoposti a procedimenti di valutazione ambientale di competenza statale (fonte dati: MATTM – Portale VAS-VIA-AIA; aggiornamento maggio 2020)

Progetto	Tipologia progetto
Centrale termoelettrica nel comune di Nave (BS) Impianto <i>peaker</i> per il bilanciamento della rete elettrica	Nuova centrale da 320 MWt
Centrale termoelettrica nel comune di Pace del Mela (ME) Impianto <i>peaker</i> per il bilanciamento della rete elettrica	Nuova centrale da 130 MWt
Modifica della centrale termoelettrica di San Nicola di Melfi (PZ)	Nuova centrale da 185 MWt con motori endotermici (centrale esistente smantellata)
Modifica della centrale termoelettrica di Termoli (CB)	Nuova centrale da 148 MWt con motori endotermici (centrale esistente smantellata)
Centrale termoelettrica di Brindisi Impianto con motori a gas	Nuovi motori endotermici da 301 MWt in sostituzione della centrale esistente
Centrale termoelettrica di San Filippo del Mela (ME) Installazione di un nuovo ciclo combinato a gas	Rifacimento della centrale esistente con una nuova unità da 1369 MWt
Centrale termoelettrica di Tavazzano con Villavesco e Montanaso Lombardo (LO) Realizzazione di un nuovo ciclo combinato	Nuovo gruppo da 1350 MWt in sostituzione dell'esistente da 800 MWt
Centrale termoelettrica di Bertinico e Turano Lodigiano (LO) Impianto <i>peaker</i> per il bilanciamento della rete elettrica	Nuova centrale da 739 MWt
Centrale termoelettrica di Cassano d'Adda (MI) Realizzazione impianto con motori a gas	Aggiunta di 224 MWt con motori endotermici
Centrale termoelettrica di Cassano d'Adda (MI) Upgrade delle turbine a gas	Sostituzione di parti dell'esistente centrale da 1357 MWt con incremento potenza di 125 MWt
Centrale termoelettrica di Chivasso (TO) Upgrade delle turbine a gas	Sostituzione di parti dell'esistente centrale da 2078 MWt con incremento potenza di 88 MWt
Centrale termoelettrica di Sermide (MN) Upgrade delle turbine a gas	Sostituzione di parti dell'esistente centrale da 2052 MWt con incremento potenza di 105 MWt
Centrale termoelettrica di Piacenza Upgrade delle turbine a gas	Sostituzione di parti dell'esistente centrale da 1536 MWt con incremento potenza di 119 MWt
Centrale termoelettrica di Ravenna Sostituzione del ciclo combinato con nuovi turbogeneratori	Sostituzione gruppi da 395 MWt con nuovi gruppi da 325 MWt
Centrale termoelettrica di Larino (CB) Progetto di rifacimento di due unità di produzione	Sostituzione di 2 gruppi da 860 MWt con gruppi da 820 MWt
Centrale termoelettrica di Termini Imerese (PA) Progetto di rifacimento di due unità di produzione	Sostituzione di 2 gruppi esistenti da 860 MWt con gruppi da 820 MWt
Centrale termoelettrica di Rossano di Corigliano-Rossano (CS) Progetto di rifacimento di due unità di produzione	Sostituzione di 2 gruppi esistenti da 860 MWt con gruppi da 820 MWt
Centrale termoelettrica di Montalto di Castro (VT) Progetto di rifacimento di quattro unità di produzione	Sostituzione di 4 gruppi esistenti da 1720 MWt con gruppi da 1640 MWt
Impianto di produzione di energia elettrica di Monopoli (BA) Progetto di conversione a gas naturale	Sostituzione gruppi esistenti da 297 MWt con gruppi da 300 MWt con motori endotermici
Impianto di produzione di energia elettrica di Molfetta (BA) Progetto di conversione a gas naturale	Conversione esistente centrale a oli e grassi vegetali da 84,6 MWt a centrale a gas da 85,9 MWt con motori endotermici
Centrale termoelettrica di Trieste Progetto di rifacimento di una unità di produzione	Sostituzione di un gruppo da 380 MWt con un gruppo da 220 MWt
Centrale termoelettrica di Porto Marghera – Venezia Progetto di rifacimento della centrale	Nuova centrale da 1262 MWt in sostituzione della esistente da 1455 MWt
Centrale termoelettrica di Presenzano (CE)	Nuova centrale da 1244 MWt
Centrale termoelettrica di Gorizia	Nuova centrale da 148 MWt
Centrale termoelettrica di Greve in Chianti (FI)	Nuova centrale da 148 MWt con motori endotermici

Tabella 4 – Capacità assegnata per area geografica (fonte dati: TERNA)

Distribuzione geografica	Prima asta 2022 – 6/11/2019		Seconda asta 2023 – 28/11/2019	
	Capacità assegnata esistente (MW)	Capacità assegnata nuova (MW)	Capacità assegnata esistente (MW)	Capacità assegnata nuova (MW)
Calabria	3.185	0	2.891	0
Centro Nord	1.272	49	1.308	65
Centro Sud	4.233	305	4.651	804
Sardegna	144	0	155	0
Sicilia	1.878	53	1.797	342
Nord	21.465	1.276	21.284	2.631
Sud	2.581	84	2.927	162
Totale	34.758	1.767	35.013	4.004

ne tra gli impianti di combustione e quelli che utilizzano energie rinnovabili.

I progetti riportati nelle precedenti tabelle, per i quali sono stati conclusi o sono tutt'ora in corso i procedimenti di valutazione ambientale per autorizzarne la realizzazione, e che dovranno acquisire successivamente anche le relative autorizzazioni all'esercizio, corrispondono in gran parte agli impianti risultati assegnatari di una porzione della capacità messa all'asta nell'ambito del mercato della capacità, dato che uno dei presupposti per ottenere i premi di valorizzazione messi a disposizione, è che i progetti presentati ottengano le necessarie autorizzazioni, entro il 30/06/2020 per la prima asta con consegna 2022, ed entro il 31/12/2020 per la seconda con consegna prevista per il 2023 (Tab. 4). In caso di mancato rispetto di questa *deadline* decade il diritto di usufruire delle condizioni economiche proposte da TERNA nell'ambito del mercato delle capacità.

Una rappresentazione su mappa, ottenuta riportando la dislocazione geografica dei progetti presentati per la VIA e le aree geografiche oggetto di assegnazioni della capacità messa a disposizione nelle 2 aste condotte, mostra che la maggior parte dei progetti sono localizzati nelle regioni settentrionali, ma tutto il Paese sarà interessato dalla realizzazione di impianti nuovi o dalla trasformazione degli esistenti, per rendere più efficiente e performante il settore energetico italiano. Anche le principali realtà industriali del sud Italia infatti saranno interessate da interventi di conversione degli impianti esistenti, cui si aggiungerà la costruzione di nuove centrali a gas, in modo tale da garantire una certa autonomia nel settore energetico di questa parte di Italia, compresa anche la regione Sicilia (Fig. 6). Rimane invece la criticità rappresentata dalla Sardegna dato che, non essendo ancora stato effettuato l'al-

lacciamento alla rete nazionale di distribuzione del metano, non ha potuto prendere parte alle assegnazioni del *capacity market* per nuovi progetti. Il suo futuro in termini energetici rimane pertanto condizionato dalla realizzazione di opere infrastrutturali quali una nuova interconnessione elettrica con il continente e la realizzazione di una rete di depositi costieri di gas naturale liquefatto (GNL), da cui poi il gas potrebbe essere utilizzato per la necessaria produzione di energia elettrica. Questi progetti rappresentano nel breve periodo il presupposto imprescindibile per superare l'indispensabilità ad oggi rappre-



Figura 6 – Raffronto tra la dislocazione sul territorio nazionale dei Procedimenti VIA in corso/conclusi ed i settori geografici individuati per le assegnazioni del *capacity market* (fonte dati: MATTM – Portale VAS-VIA-AIA e TERNA)

Tabella 5 – Stato di autorizzazione degli interventi infrastrutturali previsti dalla SEN (fonte dati: MATTM Portale VAS-VIA-AIA)

	Allegato III SEN	Stato progetto sottoposto a valutazione ambientale (VIA/Verifica assoggettabilità) Aggiornato al 20/02/2020	
1	Rimozione limitazioni centro nord – centro sud	-	-
2	Elettrodotto a 380 kV Calenzano – Colunga	Nuovo elettrodotto a 380 kV tra Colunga e la stazione elettrica di Calenzano ed opere connesse	Concluso Decreto di esclusione dalla VIA n. 153 del 22/05/2017
3	Elettrodotto 400 kV Foggia – Villanova	Elettrodotto aereo a 380 kV doppia terna “Gissi-Larino-Foggia”	In corso
		Elettrodotto a 380 kV in doppia terna, “Villanova-Gissi” ed opere connesse	Concluso Decreto VIA n. 510 del 13/09/2011
4	Elettrodotto 400 kV Deliceto – Bisaccia	Elettrodotto 380 kV Bisaccia-Deliceto	Concluso Decreto VIA n. 168 del 6/08/2015
5	Elettrodotto 400 kV Montecorvino – Avellino – Benevento	Elettrodotto a 380 kV in doppia terna “Montecorvino-Avellino Nord” e razionalizzazione della rete AT nelle province di Avellino e Salerno	Archiviato per mancanza di adeguata documentazione progettuale
6	Riassetto rete nord Calabria	Razionalizzazione della rete ad alta tensione ricadente nell’area del Parco del Pollino	In corso
7	Elettrodotto 400 kV tra Milano e Brescia	Riqualificazione a 380 KV dell’elettrodotto aereo “Cassano Ric. Ovest Brescia” nella tratta compresa tra le stazioni elettriche di Cassano D’Adda e Chiari ed opere connesse Province: Brescia, Milano, Bergamo	Concluso Decreto VIA n. 46 del 19/02/2018
8	Razionalizzazione rete media valle del Piave	Razionalizzazione e sviluppo della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) nella media valle del Piave	Concluso Decreto VIA n. 93 del 14/03/2018
9	Elettrodotto a 400 kV Paternò – Pantano – Priolo	Elettrodotto a 380 kV in singola terna “Paternò-Priolo”	Concluso Decreto VIA n. 352 del 28/11/2013
10	Elettrodotto 400 kV Chiaramonte Gulfi – Ciminna	Elettrodotto 380kV doppia terna “Chiaramonte Gulfi – Ciminna”	In corso
11	Elettrodotto 150 kV Santa Teresa – Buddusò	Elettrodotto a 150 kV Santa Teresa – Buddusò	In corso
12	Interconnessione HVDC Sardegna Corsica Italia	SA.CO.I.3 – Rinnovo e potenziamento del collegamento HVDC Sardegna-Corsica-Italia (opere in territorio italiano)	In corso
13	Stazione 400 kV di Mese	Collegamento elettrico transfrontaliero CH-IT Castasegna – Mese e opere elettriche RTN connesse, per le sole Opere RTN di competenza Terna	In corso
14	Elettrodotto 220 kV Premadio – Glorenza – Cesano	Interramento parziale 220 kV Glorenza-Tirano-Premadio (è l’interramento di un’opera esistente)	Concluso
15	Riassetto Trentino Alto Adige	-	-
16	Elettrodotto a 400 kV Altomonte – Laino	Nuovo Elettrodotto a 380 kV tra il sostegno 90 della linea esistente Laino – Rossano 1 e l’esistente Stazione Elettrica di Altomonte	Archiviato su richiesta del proponente
17	Sviluppo rete primaria 400-220 kV (Sicilia)	-	-
18	Elettrodotto 400 kV Raddoppio Brindisi	Decreto MISE + MATTM (Direzione RIN) n. 239 di ottobre 2018 per il rilascio dell’autorizzazione alla costruzione ed esercizio del collegamento in cavo 380 kV dalla stazione elettrica della centrale di Brindisi Enipower all’elettrodotto aereo 380 kV centrale di Brindisi Nord – Brindisi Pignicelle	-
19	Compensatori per 500 MVAR (Sardegna)	-	-
20	Compensatori per 1250 MVAR (Sud)	-	-
21	Compensatori per 250 MVAR (Centro Sud)	-	-

sentata dal carbone in Sardegna, che alimenta ancora 2 centrali termoelettriche collocate una nella parte sud e una nella parte nord dell'isola e che rappresentano la principale fonte di produzione energetica sarda con una potenza totale installata di 3.070 MWt.

Ma la Sardegna potrebbe non essere l'unica area ad avere problemi nell'attuazione del processo di decarbonizzazione, a causa della mancata realizzazione di opere infrastrutturali necessarie per il trasferimento rapido dell'energia dal luogo di produzione o accumulo fino agli utilizzatori. Già con il documento di Strategia Energetica Nazionale del 2017 erano stati individuati specifici interventi da realizzare come presupposto base per poter dare attuazione alla fase di sostituzione delle centrali a carbone con impianti a gas o a fonti rinnovabili, interventi che però in qualche caso hanno ancora in corso l'iter di autorizzazione necessario per poter cominciare la realizzazione dell'opera. Nella Tabella 5 è riportato un incrocio tra l'allegato III della SEN, che elenca gli interventi necessari sulla rete di trasmissione nazionale, con lo stato dell'iter autorizzativo in materia di valutazione ambientale, ricavato dai dati pubblicati sul portale dedicato del Ministero dell'Ambiente (<https://va.minambiente.it>), per quegli interventi che necessitano di una valutazione ambientale preliminare per poter essere realizzati (aggiornamento: febbraio 2020).

I dati riportati, sia in termini numerici che di capacità assegnata, mostrano come l'attuazione delle procedure di trasformazione del mercato energetico abbia avuto una larga partecipazione, tutti i principali operatori del settore hanno presentato progetti per nuovi impianti e/o per l'adeguamento degli esistenti, con un'ampia distribuzione territoriale delle proposte avanzate.

Il mercato delle capacità si conferma quindi essere uno strumento fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi di *phase out* dal carbone posti dalla SEN prima, dal PNIEC successivamente, e di integrazione della capacità elettrica prodotta con impianti di combustione, con quella prodotta con fonti rinnovabili. Tale meccanismo dovrà essere supportato dall'utilizzo di nuovi sistemi di accumulo che immagazzineranno il surplus energetico prodotto soprattutto dalle energie rinnovabili non programmabili, ma anche dalle centrali termoelettriche nei periodi di maggior esercizio, per utilizzarlo e immetterlo nella rete nei periodi di maggior consumo assicurando così sempre una scorta energetica che soddisfi il fab-

bisogno del Paese. Sebbene anche per tali sistemi di accumulo di energia, così come per gli impianti che saranno alimentati con energie rinnovabili, sono in fase di progettazione e attuazione molti specifici progetti, per essi non è stato possibile estrapolare una rassegna dettagliata degli interventi in fase di autorizzazione e realizzazione, in quanto, in questi casi, anche a causa delle ridotte potenze in gioco e delle diverse Autorità competenti coinvolte, gli iter autorizzativi seguono percorsi definiti spesso a livello regionale e locale, che non consentono pertanto di pervenire in maniera esaustiva ed univoca ad un censimento completo e codificato.

Fondamentale sarà però la sinergia che si dovrà innescare nel sistema di produzione e accumulo di energia che potrà funzionare a regime ed essere realmente autosufficiente soltanto nel momento in cui verranno realizzati anche tutti gli interventi infrastrutturali previsti, in modo tale da garantire il collegamento e la connessione di tutta la rete elettrica italiana e la totale copertura di tutte le zone del Paese.

4. CONCLUSIONI

Circa il 26% della generazione di energia elettrica a livello globale alla fine del 2018 è stata prodotta da fonti rinnovabili (Renewables 2019). Questo dato percentuale è destinato ad aumentare di anno in anno, per tragguardare gli obiettivi fissati a livello mondiale in termini di riduzione delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera, dato che le fonti rinnovabili dovranno nel prossimo futuro sostituire nel settore della produzione energetica gli impianti tradizionali che utilizzano combustibili fossili.

Anche l'Italia, in linea con gli altri paesi europei e mondiali, sta modificando l'impostazione del proprio settore energetico, promuovendo ed incentivando forme di produzione di energia che siano ambientalmente più sostenibili e che ricorrano sempre meno all'utilizzo di risorse fossili; in anticipo rispetto agli altri paesi europei, nei documenti di programmazione energetica italiani è stata fissata al 2025 la data entro cui attuare il completo *phase out* dal carbone come combustibile per la produzione di energia. Questo comporterà una radicale trasformazione nel sistema di produzione energetica italiana, ancora oggi fortemente caratterizzato dalla presenza di centrali di tipo tradizionale: impianti in genere di considerevoli dimensioni, nati per produrre grandi quantitativi di ener-

gia e pensati per lavorare in modo continuo durante tutto l'arco dell'anno, così da soddisfare una richiesta più o meno costante di energia da immettere nella rete nazionale. Con il progressivo sviluppo delle energie rinnovabili, cambiano le esigenze del mercato energetico, poiché l'utilizzo massiccio di fonti rinnovabili porta ad una significativa discontinuità nella produzione energetica, insita nella natura non programmabile e non prevedibile di queste risorse naturali. Gli impianti di combustione in questo contesto dovranno sopperire alle carenze che possono verificarsi con l'uso delle rinnovabili e avere quindi caratteristiche di flessibilità e adattabilità alle esigenze della rete elettrica. Ciò significa che i nuovi impianti a gas che verranno realizzati/gestiti in Italia nei prossimi anni, al contrario di quanto avvenuto fino ad ora, dovranno essere progettati per entrare in esercizio per un numero limitato di ore nell'arco dell'anno, per far fronte alle richieste del mercato elettrico nei momenti di picco dei consumi energetici e dovranno in tali casi dare una risposta rapida, entrando in funzione con ridotti tempi di avvio degli impianti e garantire al contempo elevati livelli prestazionali in termini di efficienza energetica e di contenimento delle emissioni inquinanti.

Questa è la sfida che il settore energetico italiano dovrà affrontare nei prossimi anni per riuscire a dare piena attuazione all'obiettivo di transizione ecologica che riguarda tutti i settori produttivi, ma che nel caso della produzione di energia elettrica rappresenta un punto di rottura e di importante cambiamento con il recente passato; tale processo, ormai avviato, considerati i tempi contingentati previsti per la sua attuazione, dovrà essere supportato da procedure autorizzative, sia per la realizzazione delle opere e delle infrastrutture, che per l'esercizio delle stesse, che contribuiscano a facilitare e non ad ostacolare l'epocale transizione ambientale ed energetica in atto.

Tale sfida si presenta ancora più ambiziosa alla luce delle recenti proposte di *European Green Deal* e *Climate Law*, entrambe in via di definizione, nonchè nei nuovi target al 2030-2050 che a livello europeo saranno imposti per il settore energetico.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Breeze P. (2016) Gas-fired Power Generation Technology. *Gas-Turbine Power Generation* 3: 21-29.
- Cafaro C., Ceci P., Cola B., et al. (2015) IPPC Evoluzione normativa e attuazione. Ariccia (Roma): Aracne Editrice S.r.l.
- Cafaro C., Mazziotti C. (2017) Centrali a carbone in Italia tra passato e futuro. *Ingegneria dell'Ambiente* 4: 303-312.
- Clean energy for all Europeans package. Disponibile su: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans_en
- Commissione Europea – (2018) In-depth analysis in support of the commission communication com (2018) 773. Disponibile su: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf
- Environmental Protection Agency (2020) Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks. Disponibile su: www.epa.gov/sites/production/files/2020-04/documents/us-ghg-inventory-2020-main-text.pdf
- Global Carbon Project – Carbon Budget 2019. Disponibile su: www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/index.htm
- Global Energy Monitor – Global Coal Plant Tracker. Disponibile su: <https://globalenergymonitor.org/>
- IEA – International Energy Agency (2020) Electricity. Disponibile su: www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Chapter 7 – Energy Systems.
- ISPRA – (2019) Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei. Disponibile su: www.isprambiente.gov.it/files/2019/pubblicazioni/rapporti/R_303_19_gas_serra_settore_elettrico.pdf
- MATTM – Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Portale VAS-VIA-AIA Disponibile su: <https://va.minambiente.it>
- MISE – Ministero dello sviluppo economico. (2017) Strategia Energetica Nazionale. Disponibile su: www.mise.gov.it/images/stories/documenti/Testo-integrale-SEN-2017.pdf
- MISE – Ministero dello sviluppo economico. (2020) Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima. Disponibile su: www.mise.gov.it/index.php/it/198-notizie-stampa/2040668-pniec2030.
- Murty P.S.R. (2017) Renewable Energy Sources. *Electrical Power Systems* 24: 783-800.
- Renewables 2019 – Global Status Report. Disponibile su: www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf
- TERNA – Progetti Pilota di Accumulo. Disponibile su: www.terna.it/it/sistema-elettrico/innovazione-sistema/progetti-pilota-accumulo
- TERNA – Mercato della capacità. Rendiconto degli esiti Asta Madre 2022 e 2023. Disponibile su: www.terna.it/it/sistema-elettrico/pubblicazioni/news-operatori/dettaglio-rendiconto-Asta-capacity-market-2022
- www.terna.it/it/sistema-elettrico/pubblicazioni/news-operatori/dettaglio-rendiconto-asta-capacity-market-2023
- UNFCCC – United Nations Climate Change – The Paris Agreement. Disponibile su: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

LA REGOLAZIONE DELLA QUALITÀ NEL SETTORE RIFIUTI: L'INTERVENTO DI ARERA

Giorgio Ghiringhelli^{1,*}, Carlo Sguario², Paolo Pagani², Giuseppe Sbarbaro², Elisa Amodeo³

¹Università Cattaneo - LIUC, Scuola di Ingegneria Gestionale.

²UTILITEAM Srl, Milano.

³ARS ambiente Srl, Gallarate (VA).

Sommario – All'interno della più ampia cornice normativa predisposta dalle istituzioni, assume un ruolo importante e innovativo l'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA). L'Autorità, attraverso la sua attività di regolazione su tutto il territorio nazionale e l'attribuzione di poteri di controllo e sanzione in caso di mancato rispetto delle regole, dovrà infatti promuovere investimenti efficienti e finalizzati al raggiungimento degli obiettivi europei. Le direttrici che seguirà ARERA sembrano essere molto chiare e ricalcano uno schema ben noto che vede Tariffe, Qualità del Servizio e Unbundling come elementi chiave della sua azione. Se da un lato appare difficoltoso definire degli standard di servizio in un settore caratterizzato da un prodotto atipico, una grande importanza assumono gli standard di servizio, in un campo caratterizzato da una varietà molto eterogenea di prestazioni e da modalità operative molto diversificate; infatti, un dato che caratterizza fortemente il quadro dell'offerta di servizi di igiene urbana sul territorio nazionale è l'estrema variabilità della qualità dei servizi: si riscontra da un lato la presenza di realtà nelle quali la qualità del servizio è su livelli comparabili con quelli delle migliori esperienze europee, dall'altro l'esistenza di ambiti nei quali sono assicurati in un quadro assai problematico i livelli minimi di igiene cittadina. La qualità dei servizi è per ora stata declinata da ARERA per quanto riguarda la qualità contrattuale e limitatamente alla trasparenza ma la definizione di un più consistente e ordinato pacchetto di nuovi standard e obblighi di gestione della qualità contrattuale è oramai alle porte, cui seguirà l'estensione anche alla qualità tecnica, per la quale, nel campo della gestione dei rifiuti urbani, manca un riferimento normativo univoco ai livelli di servizio, secondo un percorso già visto negli altri settori regolati. In ogni caso stante la replicabilità del modello di gestione della qualità già adottato da ARERA per gli altri settori e l'urgenza di estenderlo anche al settore rifiuti vi sono già le condizioni per approfondire gli eventuali spazi di miglioramento, definire quali potrebbero essere gli investimenti necessari e definire un piano di attività che permetta di adottare i presidi necessari per garantire i livelli di compliance previsti.

Parole chiave: regolazione, qualità, servizi pubblici, rifiuti, ARERA.

QUALITY REGULATION IN THE WASTE SECTOR: ARERA INTERVENTION

* Per contatti: C.so Matteotti 22, 21053 Castellanza (VA), gghiringhelli@liuc.it.

Abstract – The new EU measures on circular economy will force municipalities and waste management companies to improve and/or apply changes to the services they provide to accomplish their implementation while they are already called to provide increasingly efficient, effective, diffused and personalized services. Within the wider regulatory framework set up by the European and national institutions, ARERA (Authority) – the Italian Regulatory Authority for Energy, Networks and Environment which carries out regulatory and supervisory activities in the sectors of electricity, natural gas, district heating, water services and the waste cycle – plays an important and innovative role, particularly for the waste management sector, which has been attributed to ARERA on 2018. In its Annual Report, 2019, ARERA describes the industry in this way: “The waste sector presents relevant differences when compared with the other sectors regulated by the Authority and is characterized by a high level of complexity and heterogeneity in its management, in addition to its governance. Over time the sector has transformed from a simple supply chain system, in which the protected interest was limited to urban hygiene, to a complex supply chain system, in which the objective of urban hygiene is joined by need to reduce the environmental impact and to replace landfill disposal with the recovery of materials and energy”. The Guidelines that ARERA will follow in its regulation activity seem to be clear and follow a well-known pattern that sees Tariffs, Quality of Service and Unbundling as key elements of its action. Authority, has started its regulation activity in waste management sector by defining tariffs for urban and related waste in accordance with the “polluter pays principle”: “Delibera 443/2019/R/RIF” is the resolution ARERA has adopted to manage the first tariff regulation period – lasting four years and divided into two half-periods. After tariffs, quality of services is the second issue approached by the Authority. It has started its activity gathering data from municipalities and companies and also in this case a first resolution has already been adopted: it is related to relationships with the customer, the so-called “transparency” (TITR), a resolution regarding basic information to be provided to customers. More measures with the purpose of establishing how company-customer relationships must be dealt with are expected to come soon. The quality regulation will also be extended to the so-called “technical quality” (e.g. in the electricity sector it takes into consideration continuity standards, in the gas sector pays attention to continuity and safety standards and in the water sector to the system of technical quality indicators). In waste management, there are not specific provisions regarding to service levels for urban and related waste. National and regional laws

only set out high-level targets and guiding principles. It is particularly important to define service standards, in a market characterized by a very heterogeneous variety of performances and diversified operating models. In fact, in Italy, on the one hand, there are municipalities in which the quality of service is at levels comparable to those of the best European experiences or even better, on the other hand, there are many areas in which it is difficult to guaranty even minimum levels of hygiene. Taking into consideration well-known patterns and models ARERA will follow to develop quality regulation, based on what already experimented in other sectors such as energy or water service, municipalities and companies are already able to analyze their situation on the organizational and operating side to identify where improvements are needed and which investments must be planned (especially investments regarding digital transformation and data collection) to guarantee future regulatory compliance. Now it is still too early to assess whether the regulatory approach proposed by ARERA – just started with tariffs and “transparency” – will deliver hoped effects flawlessly. The path taken by ARERA, despite some undesirable effects, could happen and its completion has yet to be accomplished, which seems to be suitable to create adequate stability conditions for the waste management sector in the coming years. More stability and more clarity of the regulatory structure are the necessary conditions to facilitate the realization of new infrastructures and for a growing homogenization of the quality levels of service in Italy.

Keywords: *regulatory authorities, quality levels, public services, integrated waste management, performance measurement.*

Ricevuto il 11-5-2020; Correzioni richieste il 26-6-2020; Accettazione finale il 29-6-2020.

1. INTRODUZIONE

1.1. La regolazione nel settore rifiuti

La gestione integrata dei rifiuti urbani comprende attività a monte della filiera (raccolta, trasporto e spazzamento) e a valle (trattamento, smaltimento in discarica e recupero/riciclo). A queste attività, comunemente detti “servizi di base”, si sommano quelli aggiuntivi o accessori (gestione ecocentri, spazzamento strade, svuotamento cestini, etc.) (CDP, 2014).

La gestione dei rifiuti presenta molte caratteristiche tipiche del “bene pubblico” e come tale sollecita un intervento attivo da parte del soggetto pubblico, almeno nella sua organizzazione, se non nella sua produzione. Si tratta di un tipo caso di monopolio naturale locale, anche se questo assunto è sempre più messo in discussione, essendo il settore caratterizzato da una forte dinamica evolutiva, come per altre *utilities* industriali, con nuovi assetti produttivi, organizzazione del mercato, e modalità di regolazione che sollecitano nuovi modelli di concor-

renza. Inoltre, il mercato del recupero è ben lontano dalle condizioni ideali di mercato efficiente (Massarutto, 2019). Il settore rifiuti presenta le caratteristiche di una filiera industriale (dalla raccolta allo smaltimento) che può ingenerare processi di de-integrazione verticale, con operatori diversi nei diversi segmenti. Questa caratteristica richiede una corrispondente articolazione per le fasi della regolamentazione (Merusi et al., 2017).

L’assetto normativo del settore dei rifiuti ha registrato negli ultimi anni costanti e significativi mutamenti e si caratterizza poi per una governance multi-livello, nella quale ai diversi attori vengono attribuite specifiche competenze che dovrebbero risultare coordinate. Come evidenziato nella Figura 1 allo Stato competono ruoli e funzioni di coordinamento e indirizzo, le Regioni svolgono l’importante compito della pianificazione, compresa la definizione del perimetro degli ambiti o dei bacini territoriali ottimali e omogenei, mentre gli Enti locali hanno la titolarità del servizio il cui esercizio è stato demandato dapprima alle Autorità d’Ambito Ottimale (AATO) e successivamente agli Enti di Governo d’Ambito (Ghiringhelli, 2018).

L’estrema complessità normativa, la governance frammentata che talora, in assenza di una chiara distinzione tra funzioni di regolazione e gestione, ha generato situazioni di conflitto di interesse e una forte eterogeneità tra i diversi sistemi locali, presentando rilevanti criticità a livello nazionale (Merusi et al., 2017).

1.2. L’avvento di ARERA

Funzionalmente diversi dagli altri settori regolati (energia, gas, servizio idrico e teleriscaldamento) i rifiuti presentano anch’essi esigenze di regolazione multilivello simili a quelle del servizio idrico, legate ai concetti di bacino di programmazione, ambito territoriale ottimale (ATO), etc. Obiettivo ultimo della regolazione dovrebbe essere, specie in tempi di crisi e in settori fondamentali per lo sviluppo economico, quello di dare certezza ed infondere fiducia nei contesti di riferimento, in linea con l’esigenza avvertita dagli attori dei mercati di decisioni affidabili e tecnicamente appropriate, in funzione anche dei necessari investimenti infrastrutturali.

La Legge 27 dicembre 2017, n. 205 (cd Legge di Bilancio 2018) ha attribuito all’Autorità di Regolazione per Energia Elettrica, Gas e Servizio Idrico Integrato (AEGSII), contestualmente rinomina-

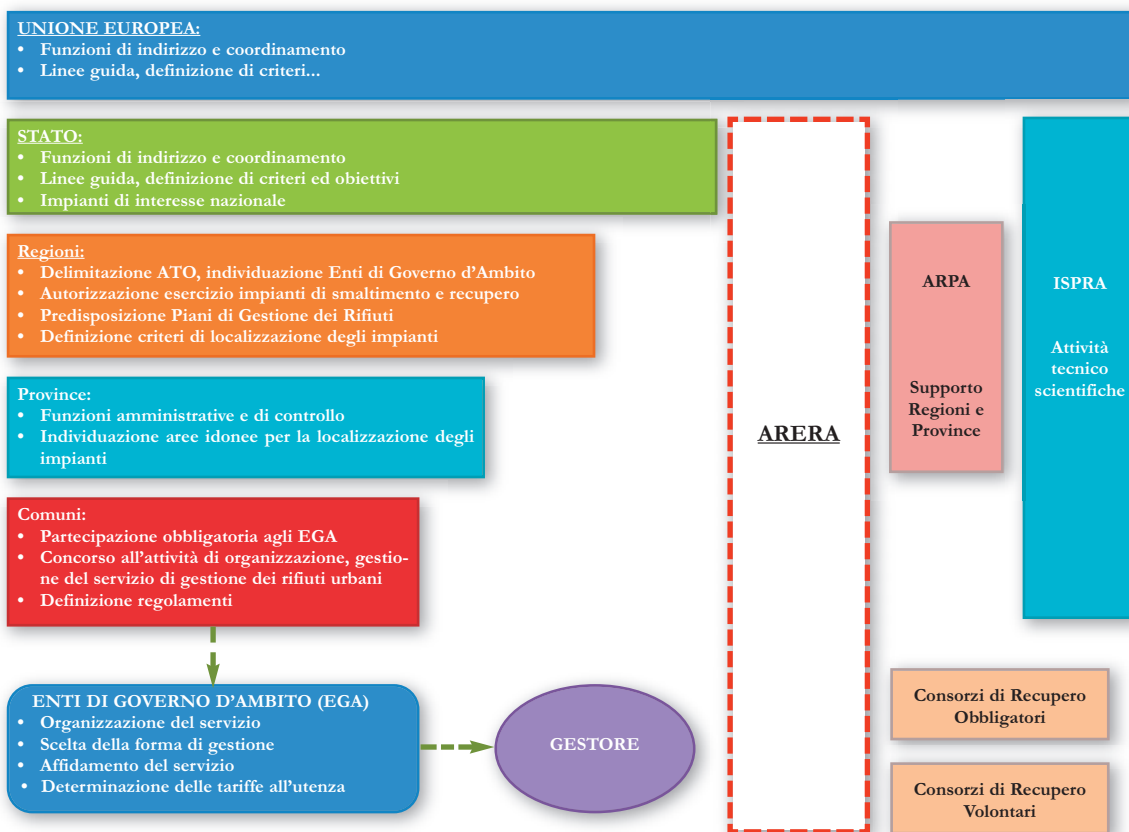


Figura 1 – Rappresentazione governance multi-livello del settore rifiuti urbani (Fonte: Utilitatis, 2018)

ta ARERA – Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente – specifiche competenze anche in materia di rifiuti urbani a partire dal 2018. Il nuovo soggetto è chiamato ad intervenire in un settore in cui fino ad oggi le competenze sono state ripartite tra Ministero, Regioni, Province, Comuni ed Enti di Governo d’ambito. In particolare, l’azione di ARERA sarà volta a superare i gravi problemi della gestione integrata dei rifiuti urbani a livello nazionale (AGCM, 2016).

Solamente in Portogallo la stessa autorità regola il servizio idrico e i rifiuti, ma non l’energia o il gas: nel panorama europeo l’ARERA costituisce pertanto un *unicum*, almeno per quanto riguarda la sommatoria dei servizi regolati, ma le forti affinità metodologiche tra regolazione dei servizi energetici ed ambientali potrebbero di sfruttare appieno le competenze maturate nella regolazione dei mercati energetici (Merusi et al., 2017).

ARERA è un’autorità indipendente che, come l’Autorità per le garanzie nelle comunicazioni (AGCOM) e l’Autorità di regolazione dei trasporti (ART), ha la funzione di tutelare gli interessi dei consumatori e di promuovere la concorrenza, l’efficienza e la diffusione di servizi con adeguati livelli di qualità, attraverso l’attività di regolazione e di controllo.



Figura 2 – Nuovo logo dell’Autorità di Regolazione

ARERA svolge tale funzione nei settori del gas e dell’energia elettrica fin dal 1995, anno della sua istituzione; per effetto di successivi provvedimenti di legge nel 2011 la sua azione è stata estesa al settore dei servizi idrici, nel 2014 al settore del teleriscaldamento e teleraffrescamento e dal 2018 al settore del ciclo dei rifiuti anche differenziati, urbani e assimilati.

In tutti i settori ad essa affidati ARERA opera esercitando i poteri di regolazione e controllo attribuitigli dalla legge istitutiva, vale a dire dalla L. 14 novembre 1995 n. 481 (Norme per la concorrenza e la regolazione dei servizi di pubblica utilità. Istituzione delle Autorità di regolazione dei servizi di pubblica utilità).

Nei limiti di quanto delegato, l’ARERA è uno dei rari casi in cui in un unico organo sono riuniti i 3 fondamentali poteri degli organi dello Stato:

– Legislativo: il potere di determinare regolamenti;

- Esecutivo: il potere di applicare i regolamenti;
- Giudiziario: il potere di giudicare e sanzionare chi non rispetta i regolamenti.

Tali poteri sono controbilanciati dalla magistratura amministrativa.

Con il DCO (Documento per la Consultazione) 713/2018/R/RIF l'ARERA ha dettagliato sia gli obiettivi strategici della sua azione sia le tipologie di azioni che saranno sviluppate.

Per quanto riguarda gli obiettivi strategici del primo semi-periodo di regolazione (2020-2021) essi riguardano il garantire:

- la massima trasparenza del settore;
- l'adeguamento infrastrutturale agli obiettivi imposti dalla normativa europea;
- la coerenza con gli obiettivi di carattere ambientale previsti dalla disciplina europea e nazionale;
- la promozione della concorrenza;
- la tutela degli utenti del servizio integrato di gestione dei rifiuti urbani e la tutela delle famiglie in condizione di disagio economico e sociale.

Il secondo semi-periodo (2022-2023) prevede quindi l'introduzione di ulteriori strumenti al fine di perseguire l'efficienza e l'efficacia degli operatori nei diversi servizi che costituiscono il ciclo integrato.

Le attività del ciclo integrato di gestione dei rifiuti incluse nel perimetro della regolazione sono unicamente quelle riconducibili al servizio di gestione integrata dei rifiuti, ovvero spazzamento e lavaggio strade, raccolta e trasporto, riscossione e rapporto con gli utenti e trattamento recupero e smaltimento. Sono specificatamente escluse tutte le attività differenti, anche se oggetto di concessione, come ad esempio raccolta, trasporto e smaltimento amianto da utenze domestiche, derattizzazione, disinfezione zanzare, spazzamento e sgombero della neve, cancellazione scritte vandaliche, etc.

1.3. La qualità dei servizi pubblici

Con il termine di qualità la norma UNI EN ISO 8402 intende l'insieme delle proprietà e delle caratteristiche che conferiscono a un prodotto (servizio, processo, organizzazione) la capacità di soddisfare esigenze espresse o implicite. Una definizione precisa di qualità di un servizio richiede però di analizzare il suo processo d'erogazione, in quanto i due elementi sono inscindibili (Gazzola, 2003). La definizione di qualità è una procedura complessa che si articola in diverse fasi, in modo sequenziale. In questo quadro, la definizione dei criteri attraverso i quali misurare la qualità costituisce un obiettivo che richiede di essere persegui-

to con specifica attenzione al servizio analizzato. Il primo passo per valutare la qualità di un sistema di erogazione di un servizio è l'analisi della sua capacità di rispondere a dei bisogni specifici (Gori et al., 1999).

La dimensione della qualità può avere natura tecnica, relazionale, economica e/o d'immagine. Il generale quadro di riferimento per l'analisi strategica della qualità tende a riconoscere otto dimensioni: performance, affidabilità, conformità, durata, estetica, attributi tangibili, assistenza, percezione. Il concetto di qualità esiste in quanto correlato a standard/livelli di qualità che i soggetti erogatori di un servizio devono assicurare e che possono riguardare l'insieme delle prestazioni afferenti al servizio ovvero le singole prestazioni. Gli standard di qualità sono misurati attraverso indicatori, che devono essere definiti, pubblicizzati, e programmati (definendo dei valori di riferimento) al fine di consentire di verificare se un servizio o una prestazione possa essere considerata di qualità essendo stato rispettato lo standard previsto. Essi sono definiti secondo dimensioni della qualità, cioè accessibilità, tempestività, trasparenza ed efficacia.

Il controllo della qualità viene sostanzialmente effettuato attraverso:

- gli indicatori di struttura e delle risorse, per verificare l'adeguatezza delle risorse produttive;
- il controllo di *performance* del processo, attraverso il quale si determina l'andamento del servizio, grazie al normale controllo operativo;
- il controllo di attività e di risultato, per la verifica della qualità del servizio reso in maniera "indipendente" dall'unità operativa che eroga il servizio;
- l'analisi dei reclami, attraverso i quali il cittadino comunica all'azienda le proprie critiche;
- l'indagine di *customer satisfaction*, volta a rilevare la soddisfazione dell'utenza.

Nel campo della gestione dei servizi pubblici la normativa si sta orientando verso una crescente formalizzazione delle prestazioni richieste ai gestori divenendo di estrema attualità quindi il tema degli standard (o livelli di servizio) richiesti ad un dato sistema e che tendono a trovare una loro definizione in provvedimenti normativi specifici. Anche le aziende che erogano servizi pubblici si trovano ad affrontare i cambiamenti che hanno influenzato l'economia e la società volti ad aumentare il benessere del consumatore. La richiesta di rinnovamento riguarda tutti i servizi pubblici, sia quelli economici (gas, acqua, elettricità, rifiuti) che quelli sussidiati (trasporti, illuminazione pubblica, ecc.), e quello che interessa è l'esito dell'attività,

che viene inteso sia come minore costo sociale, sia come valore per il cittadino, in quanto nella produzione di un certo output è stata fornita un'utilità maggiore a quella consumata e al costo per l'utente (Cattaneo, 2007).

L'attenzione delle autorità regolamentari verso i servizi pubblici è quindi rivolta alla qualità: ciò ha prodotto varie innovazioni tra cui le carte dei servizi e i parametri minimi di prestazioni tecniche.

L'esigenza di fornire servizi di qualità, per le aziende che erogano servizi pubblici, si è accompagnata in questo contesto con la necessità di confrontarsi nel mercato, diventando base per nuove scelte strategiche. Il carattere industriale di questi servizi ha portato, in modo quasi naturale, ad una tensione verso l'adesione a standard di qualità definiti e nati in ambito privatistico. In anni più recenti, la consapevolezza della necessità di raggiungere livelli più elevati d'efficacia è coincisa con l'avvio d'iniziative volte a migliorare il rapporto con l'utenza, potenziando i canali di ascolto, la *customer satisfaction*, l'attività di comunicazione e rendicontazione. Allo stesso modo, l'inserimento in meccanismi competitivi si è tradotto nella necessità di perseguire livelli più elevati d'efficienza, organizzativa e gestionale (CIVIT, 2010).

2. LA QUALITÀ NELLA REGOLAZIONE DEI RIFIUTI DI ARERA

2.1. La qualità nei pilastri della regolazione

La regolazione dei servizi pubblici adottata dall'ARERA si fonda su tre "pilastri", ovvero tre elementi fondamentali sui quali poggia l'intero sistema di regolazione e che pertanto devono essere stabiliti e affrontati con priorità, schematizzati nella Figura 3 come tra ingranaggi innestati tra loro: qualità, tariffe e unbundling. Si tratta di tre temi tra loro strettamente interconnessi, in quanto la disciplina dell'unbundling contabile fornisce all'Autorità un quadro informativo essenziale per la sua azione di regolazione economica, il cui fulcro è costituito dalla tariffa, la quale ha l'obiettivo di remunerare i costi efficienti sostenuti per fornire il servizio secondo livelli di qualità definiti e controllati (Ghiringhelli et al., 2018).

Ai sensi della L. 205/2017 sono attribuite all'Autorità le funzioni di regolazione e controllo nel settore rifiuti, in particolare in materia di definizione dei livelli di qualità dei servizi (sentiti le Regioni, i gestori e le associazioni dei consumatori) nonché di vigilanza sulle modalità di erogazione dei servi-



Figura 3 – Rappresentazione dei 3 pilastri della regolazione (Fonte: Utiliteam, 2018)

zi stessi e diffusione della conoscenza e della trasparenza delle condizioni di svolgimento dei servizi a beneficio dell'utenza oltre che di tutela dei diritti degli utenti, anche tramite la valutazione di reclami, istanze e segnalazioni presentati dagli utenti e dai consumatori, singoli o associati.

Gli atti di regolazione di ARERA hanno conseguenze dirette e condizionano la libertà dell'iniziativa economica privata, trattandosi di atti che producono diversi effetti giuridici diretti tra cui quelli di introdurre certe condizioni contrattuali o certi livelli di prezzo o, ancora, criteri di qualità. Gli atti di regolazione e le direttive hanno, quindi, un contenuto generale circa la produzione e l'erogazione dei servizi e la determinazione dei livelli di qualità nella produzione delle prestazioni (Merusi et al., 2017).

2.2. Tipologie di qualità per l'Autorità

In dettaglio possiamo identificare cosa l'Autorità intenda per regolazione della qualità traendo spunto dalla regolazione della qualità già disciplinata dall'Autorità stessa nei settori sottoposti anticipatamente alla sua azione (energia elettrica, gas e servizio idrico).

Innanzitutto, l'Autorità individua prestazioni di qualità commerciale (come è definita nel settore energia) o contrattuale (come è definita nel settore idrico), ossia processi di competenza del gestore del servizio che hanno impatto sull'utente finale, come per esempio la preventivazione, la fatturazione, la risposta a reclami o richieste di informazione, ecc. In secondo luogo, fissa alcuni requisiti essenziali riferibili al sistema organizzativo gestionale del gestore, ritenuti indispensabili per il sistema di garanzie dell'utente finale e per le funzioni di controllo che dovranno essere esercitate dalla stessa Autorità.

Ciò premesso l'Autorità definisce indicatori di qualità commerciale/contrattuale, ossia misure della prestazione resa all'utente finale, come per esempio – scegliendo volutamente indicatori indipendenti dallo specifico servizio – il tempo di risposta motivata ai reclami scritti, il tempo di risposta motivata alle richieste di informazioni scritte, la periodicità di fatturazione, il tempo di attesa agli sportelli, etc. Con riferimento a ciascun indicatore l'Autorità fissa i livelli di qualità che il gestore dovrà garantire, distinguendoli tra:

- specifici, ossia riferiti alla singola prestazione da garantire all'utente, prevedendo che in caso di mancato rispetto venga corrisposto un indennizzo automatico all'utente che ha subito il disservizio;
- generali, ossia riferiti al complesso delle prestazioni rese nel corso di un dato periodo (solitamente un anno), prevedendo che in caso di mancato rispetto si possa giungere all'irrogazione di una sanzione.

Tali norme hanno in genere un impatto molto rilevante sul sistema organizzativo gestionale del gestore del servizio, sia per la numerosità degli standard di qualità da garantire e tenere sotto controllo (nel settore idrico gli standard di qualità contrattuale sono 43) che per la capillarità degli obblighi di registrazione che richiedono interventi rilevanti anche sul fronte dei sistemi informativi.

Parte integrante delle prescrizioni inerenti la qualità commerciale/contrattuale è la trasparenza che deve garantire idonea possibilità di accesso alle informazioni rilevanti da parte dell'utente rispetto ai servizi erogati dal gestore.

Quanto finora illustrato attiene solo ad una porzione della regolazione della qualità; la regolazione della qualità operata da ARERA è infatti estesa anche alla così detta qualità tecnica in genere associata a sistemi di incentivazione e penalità rivolti al soggetto gestore sulla base del raggiungimento o meno delle performance previste dall'Autorità. L'accentramento delle potestà regolatorie in ARERA porterà quindi ad un'ulteriore evoluzione e completamento dei requisiti di qualità del servizio, secondo distinte dimensioni.

2.3. La qualità contrattuale

2.3.1. Il percorso verso la qualità contrattuale

Nel corso della fine del 2019 l'Autorità ha avviato due distinte raccolte per la trasmissione dei dati e delle informazioni in materia di qualità contrattuale del servizio integrato di gestione dei rifiuti urbani, il cui contenuto è esemplificato in Tabella 1,

Tabella 1 – Tabella di sintesi della raccolta dati (Fonte: ARERA, 2019)

Indicatori oggetto della raccolta dati	
Tempo di arrivo sul luogo di chiamata per pronto intervento	Tempo (in ore) intercorrente tra inizio conversazione con operatore di pronto intervento e arrivo sul luogo di chiamata del personale incaricato da Gestore
Tempo di attesa al call center	Tempo (in minuti) di attesa utente per richiesta di informazioni o assistenza via telefono
Tempo di attesa alla chiamata di pronto intervento	Tempo (in secondi) intercorrente tra l'inizio della risposta, anche con risponditore automatico, e l'inizio conversazione con operatore di centralino di pronto intervento o con l'operatore di pronto intervento o la conclusione della chiamata in caso di rinuncia prima dell'inizio della conversazione
Tempo di attesa allo sportello fisico	Tempo (in minuti) intercorrente tra il momento in cui l'utente si presenta allo sportello fisico e il momento in cui il medesimo viene ricevuto da un operatore
Tempo di attivazione del servizio	Tempo (in giorni lavorativi) intercorrente tra la data in cui il Gestore riceve la richiesta di attivazione da parte dell'utente e la data di effettiva attivazione del servizio. Per attivazione dovrebbe intendersi: – (raccolta domiciliare) consegna all'utente dell'attrezzatura per il conferimento; – (raccolta stradale) in presenza di contenitori ad accesso controllato potrebbe consistere nella consegna tessere identificazione.
Tempo di intervento da segnalazione dell'utente	Tempo (in ore) intercorrente tra il momento in cui il Gestore riceve la segnalazione da parte dell'utente e il momento di intervento del medesimo (es. malfunzionamento attrezzature raccolta, inadeguatezza condizioni igieniche)
Frequenza del documento di riscossione	Numero di documenti di riscossione inviati all'utente in un anno
Tempo per l'invio del documento di riscossione	Tempo (in giorni lavorativi) intercorrente tra l'ultimo giorno del periodo di riferimento del documento di riscossione e il giorno di emissione dello stesso
Tempo di rimborso/rettifica documento di riscossione	Tempo (in giorni lavorativi) intercorrente tra la data di ricevimento della richiesta e la data di accredito della somma non dovuta
Tempo di risposta ai reclami	Tempo (in giorni lavorativi) intercorrente tra la data di ricevimento del reclamo scritto dell'utente e la data di invio all'utente della risposta motivata scritta
Tempo di risposta alle richieste scritte di informazione	Tempo (in giorni lavorativi) intercorrente tra la data di ricevimento da parte del Gestore della richiesta scritta di informazioni e la data di invio al richiedente della risposta motivata scritta
Tempo per il ritiro rifiuti ingombranti	Tempo (in giorni lavorativi) tra la data in cui il Gestore riceve la richiesta e la data in cui è effettuato il ritiro dei rifiuti ingombranti
Tempo per l'appuntamento concordato	Tempo (in giorni lavorativi) che intercorre tra la data in cui il Gestore riceve la richiesta dell'utente e la data in cui si verifica l'appuntamento

ai sensi della Delibera 226/2018/R/rif e secondo quanto previsto dalla Determina 3/DRIF/2019 (Qualità del servizio integrato di gestione dei rifiuti urbani) e dalla Determina 4/DRIF/2019 (Qualità del servizio di gestione tariffe e rapporti con gli utenti). Nel complesso le norme di qualità contrattuale hanno un impatto molto rilevante sul sistema organizzativo/gestionale del gestore del servizio, sia per la numerosità degli standard di qualità da garantire e tenere sotto controllo che per la capillarità degli obblighi di registrazione che richiedono interventi di ampia portata anche sul fronte dei sistemi informativi, determinando quindi la necessità di valutazioni anche per quanto attiene nuovi investimenti.

2.3.2. *Primi elementi di qualità contrattuale nei rifiuti: il Testo Integrato Trasparenza Rifiuti*

Il primo step del percorso avviato da ARERA in ottica qualità è costituito dal Testo Integrato Trasparenza Rifiuti (TITR) di cui alla Delibera 444/2019/R/rif adottato con l'obiettivo di:

- armonizzare garanzie a tutela degli utenti in modo omogeneo a livello nazionale indipendentemente da scelte organizzative di gestione del servizio e dalla tariffa applicata;
- rafforzare il grado di informazione e trasparenza assicurando contenuti informativi minimi;
- accrescere la consapevolezza dell'utente;
- promuovere comportamenti virtuosi dell'utente, coerentemente con gli obiettivi di carattere ambientale previsti in ambito europeo;
- allineare la regolazione del settore rifiuti a quella degli altri settori regolati, tenendo conto di elementi di flessibilità e gradualità.

Di primaria importanza è sottolineare le date rilevanti per l'applicazione del TITR e l'ambito dei soggetti coinvolti, siano essi gestori o Enti Territorialmente Competenti (ETC).

Le prescrizioni in tema di trasparenza spaziano sui diversi canali ritenuti veicoli fondamentali per garantire adeguata informazione all'utente. Viviamo in un'era pervasa dalla digitalizzazione della comunicazione per cui il primo strumento su cui ARERA ha concentrato l'attenzione è il sito web. È tramite il sito che dovrebbe essere garantita idonea comprensibilità delle informazioni e chiara identificazione delle informazioni inerenti l'ambito territoriale in cui si colloca l'utenza.

Altrettanto stringenti i requisiti previsti per il secondo strumento individuato da ARERA per la promozione della trasparenza: il documento di riscossione. Data la molteplicità dei modelli di fat-

turazione/riscossione presenti nel settore rifiuti rientrano in tale tipologia l'avviso o l'invito di pagamento, oppure la fattura, trasmessi all'utente del servizio integrato di gestione dei rifiuti urbani, ovvero dei singoli servizi che lo compongono. La molteplicità dei modelli di articolazione tariffaria in essere non permette, al momento, di prescrivere indicazioni fortemente vincolanti rispetto alla struttura dei corrispettivi, focalizzandosi sostanzialmente sui contenuti informativi minimi e le modalità di invio.

2.4. *La qualità tecnica*

Per ARERA il miglioramento della qualità del servizio nel ciclo dei rifiuti è un obiettivo strategico (OS9) dell'Area Ambiente (A. Miglioramento dell'efficienza e della qualità del servizio) contenuto nel Quadro strategico 2019-2021 (Delibera 242/2019/A): "L'Autorità, oltre a disciplinare i contenuti minimi dei contratti di servizio, intende promuovere la trasparenza sulla qualità delle prestazioni erogate agli utenti, nonché una graduale convergenza a livello nazionale verso standard minimi di qualità (commerciale e tecnica) dei servizi resi, anche tenuto conto che l'assenza, di uno schema tipo di carta dei servizi settoriale, diversamente dagli altri settori regolati dall'Autorità, ha dato luogo a un'estrema eterogeneità delle prassi adottate" (ARERA, 2019).

ARERA ha quindi dettagliato le principali linee di intervento, ovvero:

- identificazione dei profili di qualità caratteristici dei diversi servizi di igiene urbana, con l'introduzione dei relativi indicatori di qualità e di standard minimi omogenei sul territorio (nonché del conseguente obbligo di adozione della Carta dei servizi), prevedendo meccanismi di ristoro dell'utenza nel caso di mancato rispetto dei livelli minimi e obblighi di comunicazione e registrazione delle prestazioni;
- individuazione degli standard minimi di qualità dei servizi infrastrutturali per la chiusura del ciclo, unitamente all'introduzione di obblighi di comunicazione e registrazione delle performance;
- definizione dei contenuti minimi dei contratti di servizio.

Con la Delibera 71/2020/A ARERA ha stipulato un Protocollo di intesa con l'Ente Nazionale Italiano di Unificazione – UNI finalizzato all'attivazione di una collaborazione per la redazione, di linee guida, prassi di riferimento e norme tecniche nel settore dei rifiuti con riferimento ai temi inerenti la qualità del servizio, i criteri per la misura-

zione della qualità e quantità della raccolta differenziata dei rifiuti e la definizione di norme in materia di Economia Circolare, con particolare riferimento al riutilizzo e al riciclaggio dei rifiuti.

Le tematiche, riferite alla qualità tecnica, sulle quali l'UNI lavorerà a supporto di ARERA riguardano in dettaglio:

- la qualità dei servizi di gestione integrata dei RU intesa come l'insieme di “requisiti delle prestazioni fornite agli utenti e di gestione delle attività relative al settore dei rifiuti urbani e assimilati e criteri per la misurazione della qualità e quantità della raccolta differenziata dei rifiuti urbani e assimilati”;
- gli impianti di trattamento, attraverso i requisiti per l'accesso agli impianti di trattamento e la “misura delle prestazioni di natura ambientale degli impianti di trattamento”;
- la continuità e sicurezza del servizio, con particolare riferimento alla “classificazione e misura delle sospensioni/interruzioni dei servizi” e alla sicurezza nella gestione dei servizi;
- l'assimilazione dei rifiuti speciali ai rifiuti urbani. Primi elementi di qualità tecnica – o, meglio, elementi che potrebbero essere ricompresi nei provvedimenti che regoleranno la qualità tecnica in maniera compiuta – sono stati già inseriti nelle procedure fissate dall'MTR (Metodo Tariffario Rifiuti) dove ARERA chiede di determinare il valore dei coefficienti γ , necessari alla determinazione della gradualità dell'applicazione del conguaglio per gli anni 2018 e 2019, sulla base dei seguenti parametri di qualità tecnica (ARERA, 2019):
- grado di rispetto degli obiettivi di raccolta differenziata;
- efficacia delle attività di preparazione per il riutilizzo e il riciclo;
- risultanze delle indagini di soddisfazione degli utenti o al grado di rispetto della Carta dei Servizi.

Il nuovo Metodo tariffario prevede l'uso del fabbisogno standard di cui all'art. 1, comma 653, della legge n. 147 del 2013 come benchmark di riferimento per il costo unitario effettivo del servizio di gestione dei rifiuti urbani, in particolare allo scopo dell'individuazione dei coefficienti di gradualità per l'applicazione di alcune componenti tariffarie inerenti i conguagli 2018 e 2019 (Art. 16 MTR). I Fabbisogni Standard sono definiti dal SOSE – Soluzioni per il sistema economico S.p.A., società controllata dal Ministero dell'Economia e delle Finanze (MEF) e dalla Banca d'Italia – che in particolare, a partire dal 2011 (con l'emanazione del D.Lgs

216/10), in cooperazione e con il supporto scientifico dell'Istituto per la Finanza e l'Economia Locale (IFEL), è incaricata di costruire l'impianto metodologico e la banca dati di riferimento per la valorizzazione dei fabbisogni standard degli enti locali.

I Fabbisogni Standard stimano statisticamente il fabbisogno finanziario di un ente in base alle caratteristiche territoriali, agli aspetti socio-demografici della popolazione residente e alle caratteristiche strutturali dell'offerta dei servizi. I Fabbisogni Standard variano per effetto di circa 70 variabili. Per l'individuazione delle “risultanze dei Fabbisogni Standard” per la gestione dei rifiuti si fa riferimento al “costo standard” di gestione di una tonnellata di rifiuti, calcolato sulla base di un modello statistico di regressione che mette in relazione i costi osservati in un ampio campione rappresentativo di Comuni con le rispettive variabili gestionali e di contesto che influiscono sul costo stesso (iFEL, 2020).

Per ottenere il costo standard di riferimento di ogni comune, occorre riferirsi ai differenziali di costo relativi alle seguenti componenti (SOSE, 2019):

- la percentuale di raccolta differenziata;
- la distanza in km fra il Comune e gli impianti cui vengono conferiti i rifiuti urbani;
- il numero e la tipologia degli impianti regionali;
- la percentuale di rifiuti urbani trattati e smaltiti negli impianti regionali;
- la forma di gestione del servizio rifiuti;
- i fattori di contesto del Comune (dati demografici, orografici, di reddito, etc.);
- le economie/diseconomie di scala;
- le modalità di raccolta dei rifiuti urbani;
- il cluster o gruppo omogeneo di appartenenza del Comune.

2.5. *Un esempio concreto di regolazione della qualità: il settore idrico*

Il concetto di qualità del servizio per ARERA è stato, in particolare nel settore idrico, oggetto di un duplice inquadramento: la qualità contrattuale e la qualità tecnica.

La Regolazione della Qualità del Servizio Idrico Integrato (RQSII) declina il concetto di qualità contrattuale, in sintesi, nei processi di avvio e cessazione del rapporto contrattuale, gestione del rapporto contrattuale, fatturazione e pagamento, gestione reclami e richieste (ARERA, 2015).

La regolazione di tali processi si esplica tramite diversi strumenti, alcuni dei quali oggettivamente definiti e misurabili. In particolare, ARERA definisce

per i singoli processi standard e livelli secondo una duplice dimensione: livelli specifici e livelli generali. Il livello specifico rappresenta il livello di qualità, espresso tipicamente in unità di tempo (ore/gg), riferito alla singola prestazione da garantire al singolo utente finale; se tale livello non è rispettato dal gestore l'utente ha diritto ad un indennizzo economico automatico che deve essere riconosciuto nella prima fattura utile, con livelli crescenti in base al ritardo nell'esecuzione della prestazione. Meccanismo simile è previsto anche nel caso dell'energia elettrica e del gas naturale. Nel caso del servizio idrico sono 29 gli standard/livelli specifici definiti dalla RQSII.

Il livello generale rappresenta invece il livello di qualità riferito al complesso delle prestazioni da garantire agli utenti finali, senza la previsione di alcun danno economico immediato dovuto all'eventualità di riconoscimento di indennizzo e/o ad altro meccanismo penalizzante. Per quanto attiene i livelli generali sono definiti 14 standard/livelli. Come per i livelli specifici, infatti, tale meccanismo troverà senza dubbio spazio anche nella regolazione del settore rifiuti.

Sia per quanto attiene i livelli specifici che i livelli generali è importante considerare che ARERA non prescrive obblighi stringenti solo per quanto attiene il rispetto delle tempistiche previste dai singoli standard ma anche per quanto riguarda in particolare gli obblighi di registrazione delle informazioni e successiva consuntivazione periodica.

Inoltre la disciplina della qualità contrattuale prevede ulteriori meccanismi che potrebbero generare effetti economici negativi sul gestore, come un sistema di sanzioni. ARERA ha infatti adottato una procedura semplificata di verifica a campione dei dati di qualità contrattuale comunicati dal gestore le cui conseguenze si misurano in eventuali penalità economiche, oltre alla facoltà di effettuare anche controlli di altro tipo per verificare la conformità di organizzazione e processi rispetto alla generalità dei requisiti imposti dalla regolazione della qualità contrattuale. In tal senso l'Autorità esegue infatti ispezioni (con l'ausilio della Guardia di Finanza) dalle quali può dedurre i presupposti per l'avvio di un procedimento formale di accertamento di violazioni e irrogazioni di sanzioni.

La regolazione della qualità operata da ARERA è estesa anche alla così detta qualità tecnica che nel settore idrico (RQTI) si fonda su indicatori differenziati in (ARERA, 2017):

- standard generali che descrivono le condizioni tecniche di erogazione del servizio;

- requisiti, i quali fissano le condizioni minime necessarie per poter essere ammessi al meccanismo incentivante previsto dagli standard generali;
- standard specifici che identificano i parametri di performance da garantire nelle prestazioni erogate al singolo utente.

3. LA QUALITÀ TECNICA DEL SETTORE RIFIUTI URBANI IN ITALIA

3.1. Indicatori di qualità nel settore

Il servizio di raccolta e trasporto dei rifiuti, e più in generale il servizio integrato di gestione rifiuti, rientra nella definizione di servizio pubblico locale, che soggiace alla così detta privativa comunale.

Per valutarne l'output-risultato/efficacia complessiva è comunemente utilizzato e generalmente accettato il tasso di raccolta differenziata (%RD), mentre per valutare l'impegno finanziario è utilizzato un indice di spesa corrente per tonnellata di rifiuti smaltiti e/o per abitante servito. Non sono rilevate altre misure di efficacia, pur rilevanti, come ad esempio il livello di pulizia delle strade. Per l'analisi della qualità dei servizi di gestione integrata dei rifiuti occorre riferirsi all'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e al Catasto Nazionale Rifiuti che presenta, con il Rapporto Annuale sui Rifiuti Urbani (ISPRA, 2018), insieme al Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), i servizi erogati alle imprese e ai cittadini con un punto di vista quali-quantitativo, permettendo di costruire *benchmark* specifici anche per Regione o Comune, e con specifico riferimento al concetto di prestazione tecnica ambientale, recentemente introdotto nell'ordinamento legislativo, a cui la legge associa i cosiddetti livelli essenziali (ISTAT, 2019).

In considerazione delle informazioni disponibili, gli indicatori utilizzati per i servizi relativi ai rifiuti sono:

- indicatore di impegno finanziario (€/t): spesa per tonnellata calcolato come rapporto fra la spesa corrente del servizio e le tonnellate di rifiuto raccolto e smaltito;
- indicatore di output-risultato/efficacia complessiva (%RD): raccolta differenziata come percentuale di raccolta differenziata sul totale dei rifiuti raccolti;
- indicatori di processo e output-risultato parziali: livello dei servizi su scala 0-10 per poter effettuare confronti omogenei su base territoriale.

Dall'analisi dei dati risulta che per il servizio rifiuti si sono spesi mediamente 337 Eur per tonnellata,

con punte minime per la Lombardia, 237 Eur, e massime per la Basilicata, 467 Eur. Con l'eccezione di alcune Regioni, il costo del servizio è inversamente proporzionale alla collocazione geografica, con il Sud che spende circa il 60% in più e il Centro più del 40% in più del Nord-Est. La raccolta differenziata, a livello nazionale, è pari al 55,6%, quindi apparentemente in linea con gli obiettivi al 2025. Tuttavia, la media regionale non raggiunge livelli in linea con tale obiettivo in diverse aree del Centro e del Sud. I Comuni di medie dimensioni si confermano i migliori in tutte le macroregioni. È interessante notare come il costo del servizio si sia ridotto mediamente del -4,4%, con punte di riduzione massima del -11,9% in Veneto, la Regione più virtuosa, ma al tempo stesso la performance misurata in termini di raccolta differenziata, sia aumentata del +11,3%, con picchi massimi per la Calabria (+35,2%). Ciò fa emergere una situazione in cui i livelli di efficienza, raffigurati in Figura 4, sono mediamente aumentati a livello di sistema Italia, anche se sicuramente vi sono ulteriori margini di miglioramento, sia sul fronte del costo sia su quello della raccolta differenziata, specie in gran parte del Centro e del Sud (CNEL, 2019).

I modelli di gestione di successo (alto livello dei servizi associato ad una bassa spesa per tonnellata) sono quelli di Veneto e Lombardia, seguiti da

Piemonte, Marche ed Emilia-Romagna. Il divario nord-sud è, per questo servizio, particolarmente accentuato sia per quanto riguarda il costo, sia per quanto concerne il suo livello quali-quantitativo (CNEL, 2019). Questo divario è determinato in gran parte dalla strutturale carenza di impianti di valorizzazione delle frazioni organiche differenziate e di smaltimento del rifiuto urbano residuo (RUR), e determina, oltre all'incremento dei costi di gestione dei rifiuti, la difficoltà di raggiungimento degli obiettivi definiti dal recente Pacchetto UE sull'Economia Circolare, che non possono prescindere da un'adeguata struttura impiantistica a livello nazionale (Ghiringhelli, 2020).

3.2. La qualità tecnica nel settore rifiuti: possibili indirizzi

La materia degli standard tecnici ed economici dei servizi di gestione dei rifiuti urbani non è stata trattata organicamente dalla attuale normativa di settore, anche se non mancano richiami più o meno espliciti alla regolamentazione tecnica ed economica del settore. La normativa è molto puntuale nell'indicare i vincoli e gli obiettivi del sistema di gestione dei rifiuti, mentre è meno precisa sulla definizione degli strumenti operativi per perseguire tali obiettivi, demandando tali attività alla norma-

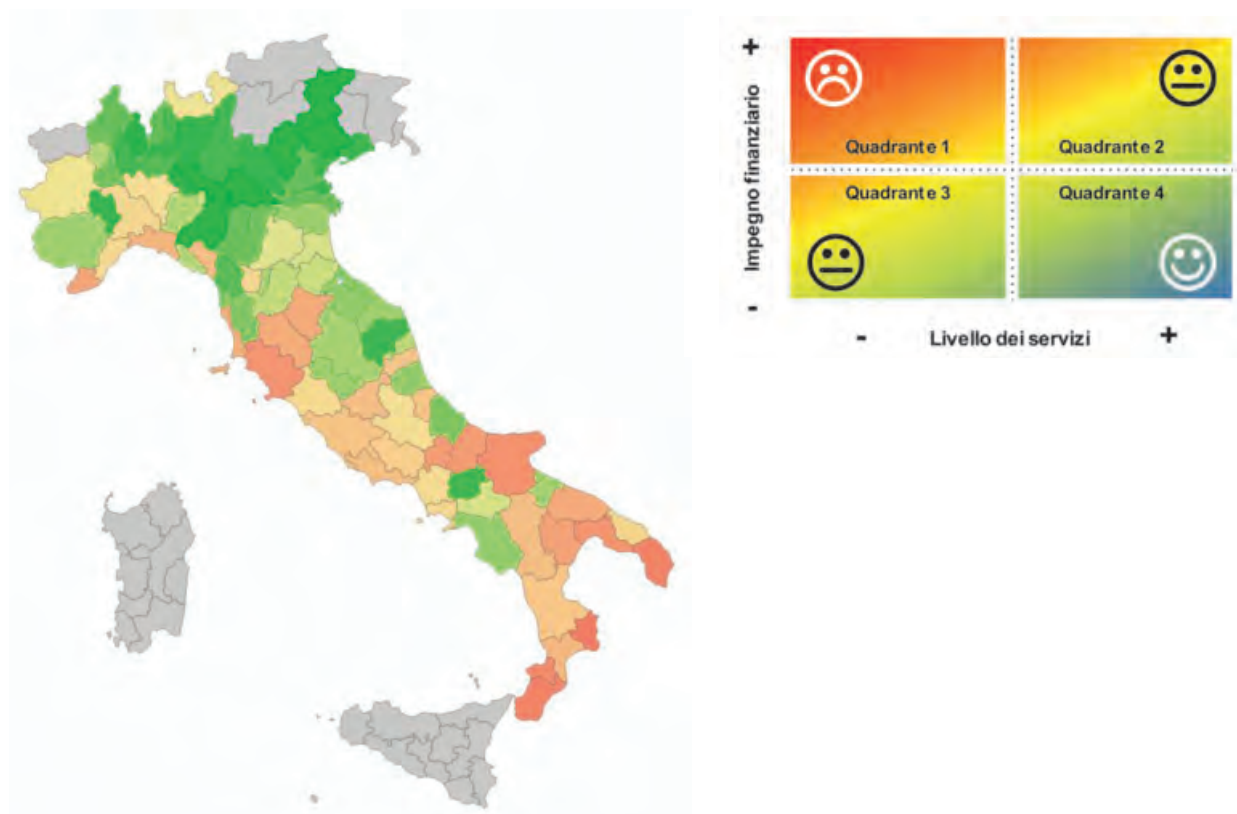


Figura 4 - Mappa provinciale indice Livello dei servizi rifiuti (Fonte: CNEL, 2019)

tiva di secondo livello o alle istituzioni periferiche (Regioni, Province, Comuni) (ANPA, 2001). Il richiamo ad una regolamentazione tecnica delle attività di gestione dei rifiuti, in particolare urbani, infatti è contenuta in modo non definito nei contenuti reali e responsabilità specifiche, ma si tratta più propriamente di un carattere trasversale, che attribuisce competenze e funzioni a tutti i soggetti con compiti di programmazione e di regolamentazione in generale. La definizione quindi di standard tecnici, livelli di servizio o norme tecniche per l'ottimizzazione delle diverse fasi del servizio di gestione dei rifiuti urbani a livello nazionale risulterebbe di estrema utilità, sia per ottemperare a riferimenti precisi della normativa, che per facilitare l'adozione di strumenti di pianificazione o regolamentari da parte degli altri soggetti coinvolti nel processo di gestione dei rifiuti urbani. I richiami normativi a strumenti di regolazione economica del servizio di gestione dei rifiuti urbani sono deboli e si basano prevalentemente sul principio di efficienza, efficacia ed economicità (ANPA, 2001). Si annoverano a livello nazionale diversi tentativi di standardizzare e oggettivare la qualità tecnica dei servizi di raccolta differenziata, igiene urbana e recupero/smaltimento dei rifiuti, spesso con approfondimenti sui costi dei servizi che frequentemente sono correlati al così detto livello del servizio (inteso come valutazione complessiva di efficacia/efficienza di un dato sistema in un certo contesto socio-urbanistico). Possono quindi essere identificati alcuni indicatori misurabili e oggettivi riferibili ai diversi servizi precedentemente richiamati, sostanzialmente dipendenti dalla modalità di erogazione dei servizi stessi (ad es. raccolta differenziata domiciliare o stradale, mezzi e personale utilizzato, frequenze di prelievo, etc.) ed altri indicatori specifici di natura territoriale (come ad es. dimensione del Comune, presenza di flussi turistici/pendolari, presenza di grandi utenze, orografia territoriale, etc.).

3.2.1. Standard tecnici di igiene urbana

Il primo tentativo organico di definizione di standard tecnici a livello nazionale è stato effettuato al dall'ANPA (attuale ISPRA) e dall'ONR (Osservatorio Nazionale Rifiuti, non più esistente) col tentativo di definire standard di qualità capaci di incentivare un miglioramento del servizio offerto centrati sulle caratteristiche territoriali, morfologiche, urbanistiche, demografiche, economiche e culturali dell'area interessata, nonché dalla qualità del servizio preesistente agli interventi migliorativi. Per questo sono stati individuati i livelli di servizio

(standard ottimali) da perseguire in una prospettiva di miglioramento progressivo della gestione che porti al conseguimento di una qualità del servizio omogenea ed elevata su tutto il territorio nazionale, nel senso della rispondenza tra domanda ed offerta di servizio, uniformata alle esperienze più avanzate già in atto nel Paese (ANPA, 2001). Lo schema di sintesi degli standard tecnici analizzati è riportato in Tabella 2.

Tabella 2 – Principali standard tecnici dei servizi di gestione integrata dei rifiuti urbani (Fonte: ANPA, 2001)

Tipologia di standard	Standard specifico
Standard tecnici aziendali	Standard riferiti alla performance dell'azienda del suo insieme
Standard degli automezzi e delle attrezzature	Automezzi e attrezzature Efficienza degli automezzi e delle attrezzature Frequenza lavaggio interno dei mezzi di raccolta e trasporto e delle attrezzature
Standard dei contenitori	Contenitori Efficienza dei contenitori Frequenza lavaggio interno dei contenitori
Standard dei servizi di raccolta RU e RD	Estensione del servizio Continuità del servizio Rete di conferimento (distanza e posizionamento) Frequenze di raccolta (RUR, Forsu, Carta/Cartone, Plastica, Vetro, Multimateriale, altre frazioni, etc.) Orari di raccolta Standard tecnici dei servizi aggiuntivi di raccolta differenziata (isole e piattaforme ecologiche)
Standard del servizio di raccolta dei rifiuti ingombranti	Modalità di svolgimento
Standard del servizio di spazzamento	Continuità del servizio Modalità organizzative Frequenze di spazzamento (meccanico e manuale) e lavaggio strade Orario
Altri standard	Contratto di lavoro Volumetria disponibile per RUR Grado riempimento contenitori Pesatura dei rifiuti
Parametri di efficienza e di produttività	Costi/abitante Costi/utente Costi/kg raccolto Costi/contenitore stradale svuotato Contenitori stradali svuotati per turno di raccolta Costi/addetto Rifiuti raccolti/addetto Costi del personale su costi totali Costi industriali su costi totali Ammortamenti su costi totali Costi/rifiuti raccolti per modulo Costi/cassonetto lavato Costi/km spazzato (meccanizzato) Costi/ore lavorate Km spazzati/addetto Costi/rifiuti trasportati a km Abitanti serviti/addetto

3.2.2. Livelli di prestazione e modalità e condizioni di accettazione dei servizi di pulizia delle strade e di gestione dei rifiuti urbani

Un riferimento più recente e di grande significato per il settore sono le norme UNI della serie 11664/2017 dove sono definiti i requisiti generali e le metodologie di misura dei livelli di prestazione, definiti i contenuti dei contratti relativi ai servizi di raccolta indifferenziata o differenziata dei rifiuti urbani, di pulizia e manutenzione dei contenitori, di rimozione dei rifiuti abbandonati.

Per quanto attiene i requisiti generali la norma definisce i livelli di prestazione e le modalità e condizioni di svolgimento dei servizi di pulizia delle strade e di gestione dei rifiuti urbani al fine di ottenere i migliori risultati in termini di prestazioni quantitative e qualitative, di ottimizzazione economica, di sostenibilità ambientale e di prevenzione dell'inquinamento.

Sono inoltre stabilite metodologie di misura dei livelli di prestazione relativamente ai contratti relativi ai servizi di raccolta indifferenziata o differenziata dei rifiuti urbani, di pulizia e manutenzione dei contenitori, di rimozione dei rifiuti abbandonati, sistemi da mettere in atto per controllare le prestazioni rese e la loro qualità.

3.2.3. Criteri ambientali minimi

Un ulteriore elemento sulla qualità tecnica dei servizi omogenea a livello nazionale è introdotto dal Codice dei Contratti Pubblici che ha fissato l'obbligo, per i gestori individuati mediante gara d'appalto, di rispettare i Criteri Ambientali Minimi (CAM) ossia standard e disposizioni rilevanti in tema di qualità del servizio di raccolta rifiuti urbani e del rapporto utente/gestore. I CAM per l'affidamento del servizio di gestione rifiuti urbani (stabiliti dal D.M. 13 febbraio 2014 ora in aggiornamento) disciplinano dettagliatamente le prestazioni inerenti il rapporto utente/gestore e sono la declinazione del Piano d'azione nazionale sul green public procurement (PANGPP). In essi si trovano riferimenti dettagliati ad elementi tecnici dei servizi, come le modalità e obiettivi di raccolta differenziata, il controllo della qualità dei conferimenti e del servizio, l'assistenza ai cittadini, informazione e sensibilizzazione degli utenti e degli studenti e il sistema informativo di monitoraggio.

3.2.4. La certificazione di qualità

Il riconoscimento della qualità di prodotti o servizi può avvenire attraverso la certificazione di qua-

lità che è un procedimento complesso che permette di associare la propria qualità a criteri oggettivi.

Le norme UNI EN ISO della serie 9000 contengono i requisiti minimi che le aziende devono soddisfare per impostare la propria attività secondo criteri di garanzia della qualità, certificati da enti che devono essere accreditati dal SINCERT (Sistema Nazionale per l'Accreditamento degli Organismi di Certificazione) (MISE, 2006).

Risulta utile introdurre all'interno delle aziende dei servizi di igiene urbana sistemi di qualità, conformi alle norme accreditate, per:

- standardizzare le caratteristiche generali delle aziende operanti nel settore;
- ridurre la forbice oggi esistente fra operatori;
- elevare complessivamente la qualità del comparto industriale nei servizi d'igiene urbana.

L'esistenza di un sistema di qualità interno rappresenta una garanzia che si possano rispettare gli standard tecnici relativi ai singoli servizi, limitando gli interventi del regolatore. La compresenza di sistemi di qualità a livello aziendale e di standard tecnici operativi dei singoli servizi può produrre quindi il risultato migliore in termini di qualità del servizio. I gestori dovranno sempre più definire procedure di controllo sull'effettivo svolgimento delle attività previste dai contratti. In questo modo, sarà possibile evidenziare la conformità tra i servizi programmati (sulla base degli standard e dell'analisi della domanda) e quelli effettivamente resi dal gestore. È importante poter distinguere infatti fra un livello di servizio programmato insoddisfacente e un livello di servizio programmato non effettuato, in modo tale da poter definire misure correttive (modifica dello standard, penalità sul gestore) (APAT, 2001). I contenuti minimi obbligatori dei report comprendono i dati e le informazioni relative a:

- quantità di rifiuti indifferenziati raccolti;
- quantità di rifiuti differenziati raccolti per ogni frazione merceologica;
- numero di prelievi dei rifiuti effettuati giornalmente / settimanalmente;
- impianti di destinazione dei rifiuti raccolti;
- frequenze del servizio di spazzamento;
- eventuali variazioni sostanziali delle modalità di espletamento dei servizi;
- autovalutazione della corrispondenza tra le caratteristiche del servizio svolto e i livelli di qualità previsti dagli standard previsti;
- orari di espletamento dei diversi servizi.

3.2.5. Certificazione Emas, per gestione rifiuti

Saranno operative da agosto 2020 le regole del documento di riferimento Emas per il settore della gestione dei rifiuti urbani. Il documento di riferimento (2020/519/UE) è stato approvato dalla Commissione e contiene le migliori pratiche di gestione ambientale, gli indicatori di prestazione ambientale settoriale e gli esempi di eccellenza per il settore della gestione dei rifiuti ai fini dell'ottenimento della certificazione ambientale volontaria Emas ai sensi del regolamento 1221/2009/Ce. Il documento si rivolge principalmente alle imprese di gestione dei rifiuti comprese quelle che attuano regimi di responsabilità del produttore, e alle Autorità competenti in materia di rifiuti.

3.2.6. La Carta dei Servizi

Le raccolte dati disposte da ARERA indicano sempre come elemento da porre a base della valutazione dello stato di fatto la Carta dei Servizi (CdS). Si tratta di un documento reso obbligatorio dal D.P.C.M. 27/01/1994 e successivamente oggetto di numerosi interventi normativi che individua i principi, le regole, gli standard qualitativi dei servizi, al fine di tutelare le esigenze dei cittadini-utenti nel rispetto dei principi di efficacia, efficienza ed economicità.

La CdS rappresenta l'impegno del soggetto gestore ad assicurare il massimo livello di qualità del servizio nei confronti dei cittadini-utenti, nel rispetto dei principi, delle regole e degli standard in essa prestabiliti, in modo da garantire la chiarezza del rapporto ed il miglioramento continuo del servizio anche attraverso l'individuazione di idonei strumenti di controllo e monitoraggio. A tal fine con la CdS si propone di illustrare in modo chiaro e dettagliato le caratteristiche dei servizi erogati dal soggetto gestore, anche mediante la definizione degli standard di qualità dei servizi, dei diritti dei cittadini-utenti e delle relative modalità di tutela. In particolare, sono tipicamente riportati nella Carta dei Servizi condizioni riguardanti:

- continuità e regolarità di erogazione delle prestazioni su tutto il territorio servito;
- tutela dell'ambiente e obiettivi dei servizi;
- completezza ed accessibilità all'informazione da parte dell'utente;
- formazione del personale;
- rapidità di intervento in caso di disservizio.

Sulla base di tali fattori vengono individuati standard di qualità che costituiscono gli strumenti di

verifica sia dell'efficacia e dell'efficienza del servizio, sia della soddisfazione dell'utente. Gli indicatori di qualità vengono monitorati a cadenza fissa al fine di adottare tempestivamente azioni di miglioramento e opportune innovazioni tecniche e gestionali. In considerazione della rilevanza degli argomenti riportati nella CdS, essa viene generalmente ricompresa nei documenti contrattuali di affidamento. Sino ad oggi, però, la sua applicazione, ancorché derivante da precisi obblighi di legge, registra modalità non sempre coerenti: in alcuni casi è effettivamente utilizzata come uno strumento utile alla gestione del contratto tra Ente affidante e Gestore del servizio, in altri casi rappresenta uno strumento poco efficace e non tenuto in considerazione nello svolgimento delle attività e talvolta addirittura non esiste. Questa disomogeneità nell'applicazione di questo strumento potrebbe anche discendere dal fatto che la norma, pur prevedendone l'obbligatoria adozione, in sostanza non stabilisce alcuna sanzione in caso di mancata applicazione del dettato normativo. La situazione, con l'avvento della regolazione della qualità contrattuale da parte di ARERA, potrebbe cambiare, con l'introduzione obbligatoria di questo strumento, con un livello di contenuti minimo.

4. L'IMPORTANZA DELLA MISURA PER LA QUALITÀ

Tutti i servizi regolati a rete (energia, gas, acqua, teleriscaldamento-teleraffrescamento) sono caratterizzati dalla presenza di sistemi di misura certificati ed ufficiali sia sulle reti (sistemi di telecontrollo e rilevazione sia dei flussi che delle caratteristiche chimico-fisiche) che nel punto di contatto con l'utente (attraverso un contatore che misura l'erogazione del servizio). Inoltre il rapporto tra utente e fornitore del servizio è tipicamente sinallagmatico e l'erogazione del servizio è remunerata attraverso una fattura sottoposta ad IVA. Infine l'utente è un soggetto passivo, nel senso che il suo ruolo è quello di "consumatore" del servizio senza alcuna interazione sulla qualità tecnica dello stesso (Merusi et al., 2017).

Il servizio di gestione integrata dei rifiuti urbani si caratterizza all'opposto sia per la mancanza della rete (intesa, idealmente, come infrastruttura fisica di trasporto dei rifiuti, sostituita nella realtà da sistemi di raccolta, trasporto e spazzamento basati su veicoli e autisti/raccoglitori) sia, nella maggior parte dei casi, per l'assenza del

rapporto sinallagmatico in quanto il servizio è tipicamente remunerato attraverso una tassa (TARI). Ulteriore elemento differenziale di grande rilevanza, caratteristica distintiva di questo servizio pubblico, è il ruolo attivo dell'utente che è un anello fondamentale della raccolta rifiuti cui compete proprio la separazione a monte dei rifiuti secondo i principi e obblighi della raccolta differenziata fissati nelle ordinanze sindacali e riportati nelle Carte dei Servizi. Il soggetto gestore, per erogare in modo efficiente ed efficace il servizio di raccolta rifiuti, necessita della cooperazione dell'utente che diventa quindi co-responsabile della qualità del servizio reso, intesa come raggiungimento delle principali performance di sistema (livello di raccolta differenziata e di effettivo recupero dei rifiuti). A ciò si lega quindi l'importanza dell'informazione/educazione del cittadino/utente che ha l'obbligo di aderire alla raccolta differenziata ma i cui comportamenti sono a loro volta influenzati dal suo grado di consapevolezza.

Il D.M. 20 aprile 2017 ha stabilito i criteri per la realizzazione di sistemi di misurazione puntuale della quantità di rifiuti conferiti dagli utenti al servizio pubblico nel caso di applicazione della tariffa corrispettiva, di fatto permettendo ad oggi la coesistenza di 3 sistemi di prelievo della tassa/tariffa rifiuti: TARI-tributo totalmente a coefficienti (ancora basata sul D.Lgs 158/99, e riscossa dal Comune), TARI-tributo con componente variabile a misura (riscossa dal Comune) e TARI-corrispettiva, ovvero tariffa avente natura corrispettiva (fatturata e riscossa dal soggetto gestore e detta tariffa puntuale).

Con il termine tariffa puntuale si fa riferimento a una pluralità di casistiche ove una o più frazioni di rifiuto sono sottoposte a misurazione di peso o volume al momento della raccolta unitamente al riconoscimento univoco e all'associazione di quella raccolta ad uno specifico utente. La misurazione del RUR – Rifiuto Urbano Residuo – rappresenta il requisito minimo richiesto dal citato D.M. 20 aprile 2017 per un sistema di misurazione puntuale dei rifiuti. Le casistiche riscontrabili nella pratica oggi coesistono sul territorio nazionale e discendono dal mutevole quadro normativo che ha caratterizzato il settore, dunque, assai diversificate e si differenziano in funzione di diversi elementi:

- differente natura (corrispettivo oppure tributo);
- frazione di rifiuti misurata (RUR e/o frazioni della raccolta differenziata);

- oggetto o tecnica della misurazione (peso dei rifiuti, volume dei rifiuti, sacchi ritirati, etc);
- l'approccio alla misurazione (progressiva, ossia proporzionale alla quantità di rifiuti raccolti, oppure premiale con sconti inversamente proporzionali ai rifiuti raccolti (Ghiringhelli et al., 2020).

L'autorità, dopo un iniziale approccio critico verso tariffa puntuale, motivato principalmente dalla variabilità dei sistemi adottati e dal ridotto numero di Comuni che hanno adottato questo sistema, nel proprio Quadro strategico 2019-2021 (ARERA, 2019), giunge ad affermare che con riferimento alla gestione del ciclo dei rifiuti, è necessario superare il sistema di copertura dei costi nella forma di tributo, a favore di un meccanismo tariffario che sia in grado di passare al consumatore segnali di prezzo corretti e coerenti con indicatori di qualità del complessivo ciclo dei rifiuti.

L'evoluzione tecnologica (dall'industria 4.0, all'IoT – *Internet of Things*, all'intelligenza artificiale) applicata al settore rifiuti, esemplificata dai sistemi Rfid applicati alla tariffa puntuale oppure dai sistemi GPS per la tracciatura dei mezzi o ancora da sistemi di comunicazione diretta con gli utenti a mezzo di APP, diventa strumento indispensabile per immaginare sistemi di misura delle *performance* e dei servizi per alimentare il sistema di regolazione avviato dall'Autorità. L'applicazione di nuove tecnologie, con generazione di una incredibile mole di dati (Big Data), spingeranno inoltre gli operatori verso una significativa digitalizzazione del settore mediante l'applicazione di strumenti di analisi computazionale (Data Mining e Machine Learning), che consentiranno di monitorare i servizi attraverso indicatori e tecniche di visualizzazione evoluta.

In questo contesto di forte evoluzione verso logiche basate sui concetti di sostenibilità, efficienza e circolarità, l'interdipendenza tra i settori energia e ambiente sta assumendo un rilievo crescente, laddove la risorsa idrica o il rifiuto si trasformano in fonte di energia e di flessibilità, grazie anche allo sviluppo tecnologico e ad una crescente sensibilità ambientale dei consumatori. L'azione regolatoria dovrà altresì favorire il progresso tecnologico nel settore rifiuti anche tenuto conto dell'evoluzione dell'economia circolare, che richiede analisi sempre più attente della gestione, del riciclo nonché della valorizzazione di queste potenziali risorse (transizione “da rifiuto a risorsa”), sulla spinta degli obiettivi europei in materia (ARERA, 2019).

5. CONCLUSIONI

Il nuovo pacchetto UE di misure sull'economia circolare e i nuovi ambiziosi obiettivi in materia di rifiuti comporteranno un'ulteriore evoluzione nell'organizzazione dei servizi di gestione dei rifiuti urbani e assimilati e, quindi, anche delle imprese del settore chiamate a fornire servizi sempre più efficienti, efficaci, capillari e personalizzati.

All'interno della più ampia cornice normativa predisposta dalle istituzioni, assume inoltre un ruolo importante e innovativo, almeno per il settore rifiuti, l'ARERA. Se il suo compito regolatorio con riferimento al servizio idrico sembrava essere complesso, a causa della frammentazione gestionale, di assetti di governo ancora incompiuti, e dei ritardi infrastrutturali, le prospettive per la regolazione del ciclo dei rifiuti urbani appaiono ancora più sfidanti. La gestione dei rifiuti urbani in Italia presenta criticità e punti di forza, in un contesto di governance ancora incompleto e in un quadro di regole articolato e in evoluzione. A complicare ulteriormente la fotografia, vi è il fatto che le debolezze storiche in taluni territori hanno assunto toni emergenziali. ARERA è chiamata a porre le condizioni affinché si consolidi un sistema industriale per il settore dei rifiuti urbani, sia assicurato un servizio di qualità, si superino le procedure di infrazione e si realizzino gli impianti necessari (Bernardi et al. 2019).

Le direttrici che seguirà ARERA sembrano essere molto chiare e ricalcano uno schema ben noto che vede tariffe, qualità del servizio e *unbundling* contabile come elementi chiave della sua azione. L'Autorità, attraverso la sua attività di regolazione su tutto il territorio nazionale e l'attribuzione di poteri di controllo e sanzione, dovrà infatti promuovere investimenti efficienti e finalizzati al raggiungimento degli obiettivi europei. È inoltre chiamata a facilitare la soluzione delle questioni della assimilazione dei rifiuti speciali agli urbani e della definizione della tariffa, quantificando in modo preciso, nel rispetto del principio "*chi inquina, paga*", gli obblighi di contribuzione: il metodo tariffario per la gestione dei rifiuti (MTR) rappresenta il primo passo concreto in questa direzione.

La qualità dei servizi si pone come secondo (ma non per importanza) macro-obiettivo della regolazione che è per ora stata declinata limitatamente alla trasparenza, con l'introduzione di obblighi nei confronti dei gestori volti a rafforzare il gra-

do di informazione e trasparenza nei confronti degli utenti. Ma la definizione di un più consistente e ordinato pacchetto di nuovi standard e obblighi di gestione della qualità contrattuale è oramai alle porte: la regolazione della qualità operata da ARERA sarà quindi estesa anche alla qualità tecnica.

Nel campo della gestione dei rifiuti manca un riferimento normativo univoco ai livelli di qualità dei servizi per quanto riguarda i rifiuti urbani. La normativa nazionale e regionale indica i principi ispiratori della politica sui rifiuti e detta obiettivi di sistema. Se da un lato appare difficoltoso definire dei livelli di qualità in un settore caratterizzato da un prodotto atipico, una grande importanza assumono proprio gli standard tecnici di servizio, in un campo caratterizzato da una varietà molto eterogenea di prestazioni e da modalità operative diversificate.

In ogni caso stante la replicabilità del modello di gestione della qualità già adottato da ARERA per gli altri settori e l'urgenza di estenderlo anche al settore rifiuti, vi sono già le condizioni per gli operatori del settore per agire al fine di non farsi trovare impreparati. Al momento è ancora prematuro valutare se l'approccio regolatorio, avviato con l'MTR, sarà in grado di generare i suoi effetti prevenendo o mitigando effetti distorsivi legati alla discontinuità introdotta dalla regolazione. Pur se qualche effetto indesiderato è atteso in specifiche realtà, il percorso intrapreso, ancorché sperimentale e quindi bisognoso certamente di affinamenti dopo la prima fase di avvio della regolazione, sembra essere quello idoneo a creare quelle condizioni di stabilità per il settore per i prossimi anni, condizioni che saranno necessarie sia per il suo rilancio infrastrutturale, sia per una crescente omogeneizzazione dei livelli di qualità del servizio a livello nazionale.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AGCM – Autorità Garante della Concorrenza del Mercato (2016) Indagine conoscitiva IC 49.
- ANPA (2001) Definizione di standard tecnici di igiene urbana. Manuale.
- ARERA (2015) Delibera 655/2015/R/idr Regolazione della qualità contrattuale del servizio idrico integrato ovvero di ciascuno dei singoli servizi che lo compongono.
- ARERA (2017) Delibera 917/2017/R/idr Regolazione della qualità tecnica del servizio idrico integrato ovvero di ciascuno dei singoli servizi che lo compongono (RQTI).

- ARERA (2018) DCO 713/2018/R/RIF, Criteri per la determinazione dei corrispettivi del servizio integrato di gestione dei rifiuti urbani e assimilati e dei singoli servizi che costituiscono attività di gestione – Orientamenti preliminari.
- ARERA (2018) Delibera 226/2018/R/rif Avvio di procedimento per l'adozione di provvedimenti di regolazione della qualità del servizio nel ciclo dei rifiuti, anche differenziati, urbani e assimilati.
- ARERA (2019) DCO 351/2019/R/rif, Orientamenti per la copertura dei costi efficienti di esercizio e di investimento del servizio integrato dei rifiuti per il periodo 2018-2021.
- ARERA (2019) Delibera 303/2019/R/RIF, Unificazione dei procedimenti di cui alle deliberazioni dell'Autorità 225/2018/R/RIF e 715/2018/R/RIF, volti alla regolazione e al monitoraggio delle tariffe in materia di ciclo dei rifiuti, anche differenziati, urbani e assimilati, con individuazione di un termine unico per la conclusione dei medesimi.
- ARERA (2019) Delibera 443/2019/R/rif, Definizione dei criteri di riconoscimento dei costi efficienti di esercizio e di investimento del servizio integrato dei rifiuti, per il periodo 2018-2021.
- ARERA (2019) Delibera 444/2019/R/rif, Disposizioni in materia di trasparenza nel servizio di gestione dei rifiuti urbani e assimilati.
- ARERA (2019) Determina 3/DRIF/2019 Adempimenti di cui alla deliberazione 5 aprile 2018, 226/2018/R/rif.
- ARERA (2019) Determina 4/DRIF/2019 Adempimenti di cui alla deliberazione 5 aprile 2018, 226/2018/R/rif.
- ARERA (2019) Quadro strategico 2019-2021 dell'autorità di regolazione per energia reti e ambiente. Delibera 242/2019/A.
- ARERA (2020) Delibera 59/2020/R/com Differimento dei termini previsti dalla regolazione per i servizi ambientali ed energetici e prime disposizioni in materia di qualità alla luce dell'emergenza da COVID-19.
- ARERA (2020) Delibera 71/2020/R/rif Protocollo d'intesa tra l'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente e l'Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- Berardi D., Traini S. (2015) Rifiuti: a quando un'Autorità di regolazione indipendente? Laboratorio SPL Collana Ambiente. N. 35. REF ricerche.
- Berardi D., Traini S., Valle N. (2019) Rifiuti urbani e regolazione economica: il ruolo delle regioni. Laboratorio SPL Collana Ambiente. N. 115. REF ricerche.
- Berardi D., Traini S., Valle N. (2019) Regolazione dei rifiuti: poco spazio alla qualità e poca flessibilità. Laboratorio SPL Collana Ambiente. N. 129. REF ricerche.
- Cattaneo C. (2007) Le politiche per la qualità dei servizi pubblici. Collana I Rapporti. Dipartimento Funzione Pubblica della Presidenza del Consiglio dei Ministri.
- CDP – Cassa Depositi e Prestiti (2014) “Rifiuti: obiettivo di scarica zero”. Studio di settore 05.
- CIT – ISPRA (2017) Certificazione ambientale ed etichette ambientali per il settore della raccolta e del trasporto di rifiuti.
- CiVIT (2010) Delibera CiVIT n. 88/2010, Linee guida per la definizione degli standard di qualità e tabelle esemplificative degli standard di qualità di alcuni servizi pubblici.
- CNEL (2019) Relazione sui livelli e la qualità dei servizi offerti dalle Pubbliche amministrazioni centrali e locali alle imprese e ai cittadini.
- DPCM 29 dicembre 2016 Revisione della metodologia dei fabbisogni standard dei Comuni.
- Gazzola P. (2003) La qualità come condizione di successo delle aziende di servizi pubblici, Studi e Ricerche, Dipartimento Economia Aziendale – Università degli Studi dell'Insubria.
- Ghiringhelli G. (2020) Il destino dei rifiuti urbani. Largo Consumo n. 1/2020.
- Ghiringhelli G., Sbarbaro G., Pagani P. (2018) La nuova regolazione nel settore rifiuti Attività e impatto dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA). L'Ambiente n. 6/2018.
- Ghiringhelli G., Sbarbaro G. (2020) Il nuovo metodo tariffario rifiuti (MTR) di ARERA: principali caratteristiche e novità per la TARI. GSA n.1/2020.
- Gori E. e Vittadini G. (1999) Qualità e valutazione nei servizi di pubblica utilità. ETAS. Milano.
- iFEL (2020) Costi del servizio rifiuti, considerazione delle risultanze dei fabbisogni standard e relativo utilizzo in base alla Delibera n.443/2019/R/rif. Nota di approfondimento.
- Ispira (2018) Rapporto Rifiuti Urbani 2018.
- ISTAT (2019) BES – Benessere Equo e Solidale.
- Massarutto A. (2019) Un mondo senza rifiuti? Viaggio nell'economia circolare. Ed. Il Mulino.
- MATTM (2017) Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento del servizio di gestione dei rifiuti urbani.
- Merusi F. e Antoniazzi S. (a cura di) (2017), Vent'anni di regolazione accentrata di servizi pubblici locali, Quaderni CESIFIN. G. Ghiappichelli Ed. Torino.
- MISE – Ministero dello Sviluppo Economico (2006) Le politiche regionali per la qualità nelle imprese di servizi.
- SOSE – Soluzioni per il Sistema Economico S.p.a. (2019) Revisione della metodologia dei fabbisogni standard dei comuni delle regioni a statuto ordinario per il servizio smaltimento rifiuti.
- UNI – Ente Italiano Normazione (2017) Livelli di prestazione e modalità e condizioni di accettazione dei servizi di pulizia delle strade e di gestione dei rifiuti urbani e altre certificazioni. UNI 11664:2017.
- Utilitalia (2016) Indicatori di efficienza tecnico-economica del Servizio di Igiene Urbana.
- Utilitatis (2018) Green Book.

LE LINEE GUIDA SUL MONITORAGGIO DEGLI AERIFORMI DEL SISTEMA NAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE. IL PUNTO AD UN ANNO DALLA PUBBLICAZIONE

Antonella Vecchio^{1*}, Madela Torretta², Lucina Luchetti³,
Maurizio Di Tonno⁴, Marco Fontana⁴

¹ ISPRA.

² ARPA Lombardia.

³ ARTA Abruzzo.

⁴ ARPA Piemonte.

Sommario – Il monitoraggio delle matrici aeriformi (soil gas survey, misure di flusso, monitoraggio dell'aria ambiente) è sempre più utilizzato nell'ambito dei procedimenti di bonifica dei siti contaminati. Il Gruppo di Lavoro Nazionale, GdL 9 bis, del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) ha prodotto una serie di documenti tecnici (Linee Guida) che definiscono una procedura condivisa per la realizzazione dei presidi di monitoraggio, per il prelievo e l'analisi dei campioni di aeriformi e per l'utilizzo dei dati di campo nei procedimenti di bonifica. Relativamente alle procedure di campionamento ed analisi (Linea Guida SNPA 15/2018 e Linea Guida SNPA 16/2018) è stato riconosciuto l'elevato valore aggiunto di aver uniformato le metodologie da adottare. Per quel che concerne, invece, l'utilizzo dei dati di monitoraggio e la conseguente valutazione del rischio, l'approccio altamente innovativo introdotto dalla Linea Guida 17/2018 ha determinato la necessità di istituire un tavolo di confronto tra SNPA e le imprese. La presente relazione illustra nel dettaglio alcuni aspetti della procedura che sono stati oggetto di discussione nel tavolo con le imprese. Sono inoltre illustrati i dati relativi all'applicazione delle Linee Guida a casi reali (test della procedura) sia all'interno dei Siti di Interesse Nazionale sia in siti gestiti a livello regionale/locale.

Parole chiave: monitoraggio aeriformi, soil gas survey, camere di flusso, valutazione del rischio, siti contaminati.

THE GUIDELINES ON VAPOUR MONITORING AT CONTAMINATED SITES OF THE NATIONAL SYSTEM FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION. APPLICATION AFTER ONE YEAR FROM PUBLICATION

Abstract – Vapour monitoring (soil gas survey, flux measures, monitoring of ambient air) is increasingly used for contaminated sites management procedures. The National Working Group, GdL 9 bis, of the National System for Environmental Protection (SNPA) produced three technical documents (Guidelines) defining a harmonized procedure for the project and realization of monitoring campaigns, for the collection and analysis of vapour samples and for the use of field data in the assessment procedures. For sampling and analysis procedures (SNPA Guideline 15/2018 and

SNPA Guideline 16/2018), the high added value of developing uniform national methodologies was recognized. However, the highly innovative approach for the use of monitoring data in site specific risk assessment introduced by Guideline 17/2018 has determined the need to establish a discussion between SNPA and private companies. This article details some aspects of the procedure that have been discussed in the table with companies. The discussion with companies pushed SNPA to work on the following critical issues: better clarify some aspects of the Guidelines for their correct application in the context of contaminated sites management procedures; increase the knowledge and dissemination of the technical contents of the Guidelines within the SNPA through training activities to have an homogeneous and effective application on national territory; disseminate the technical contents of the Guidelines also outside SNPA (by participating in Conferences and Seminars) in order to make the stakeholders involved in contaminated sites activities properly informed; monitor the application of the Guidelines both in Sites of National Interest (SIN) and in local managed sites in order to verify the impact of the new procedures and eventually to identify critical issues. In order to disseminate the contents of the Guidelines within SNPA, a national training plan coordinated for the technical/scientific part by the National Working Group on vapour monitoring has been organized. The application of the Guidelines to real cases (test of the procedure) both within the Sites of National Interest and in sites managed at regional/local level is also presented in this paper. Results of real cases data collection showed that the guidelines application, to date, does not generally lead to significant critical issues, although it is noted that oil activities are the most concerned (as they represent the sites where the greatest number of monitoring is carried out). Conversely, the use of threshold values and site-specific risk assessment applied to vapour monitoring would seem to achieve the objective of saving resources and energy for not significant sites to concentrate them in cases where there could potentially be a problem. In order to consolidate these results, the National Working Group on vapour monitoring intends to make data collection on the application of the Guidelines stable and continuous, extending it to the whole national territory.

Keywords: vapour monitoring, soil gas survey, flux chambers, risk assessment, contaminated sites.

* Per contatti: Via Vitaliano Brancati 48, 00144 Roma. Tel. 06.50072812. E-mail: antonella.vecchio@isprambiente.it

Ricevuto il 17-4-2020; Correzioni richieste il 23-6-2020; Accettazione finale il 1-7-2020.

1. INTRODUZIONE

Le misure di aeriformi sono utilizzate nell'ambito dei procedimenti di bonifica dei siti contaminati sia in fase di indagine preliminare/caratterizzazione ambientale, sia per l'esecuzione dell'analisi di rischio sito-specifica, sia per la progettazione e verifica degli interventi.

Il Gruppo di Lavoro 9bis del Sistema Nazionale di Protezione dell'Ambiente (SNPA) ha prodotto a novembre 2018 tre documenti tecnici, condivisi a livello nazionale, relativamente a: progettazione delle campagne di monitoraggio degli aeriformi ed esecuzione delle indagini di campo (Linea Guida SNPA 15/2018 "Progettazione del monitoraggio di vapori nei siti contaminati"), metodiche analitiche sui diversi supporti di campionamento disponibili (Linea Guida SNPA 16/2018 "Metodiche analitiche per le misure di aeriformi nei siti contaminati") e utilizzo dei dati di campo all'interno dei procedimenti di bonifica (Linea Guida SNPA 17/2018 "Procedura operativa per la valutazione e l'utilizzo dei dati derivanti da misure di gas interstiziali nell'analisi di rischio dei siti contaminati").

Le indicazioni tecniche dei diversi documenti sono state desunte dalle esperienze già maturate dalle Agenzie e da una serie di attività di sperimentazione. Sia i tecnici del settore che gli stakeholders pubblici e privati hanno manifestato un generale apprezzamento per le Linee Guida SNPA 15/2018 e 16/2018 riconoscendone l'elevato valore aggiunto e di aver uniformato, a livello nazionale, le metodologie da adottare. Al contrario, l'approccio altamente innovativo di valutazione dei dati di monitoraggio e del loro utilizzo nell'analisi di rischio introdotto dalla Linea Guida SNPA 17/2018, ha determinato la necessità di istituire un tavolo di confronto tra SNPA e imprese.

Tale tavolo ha determinato la necessità di illustrare meglio alcuni contenuti delle Linee Guida e verificare le eventuali criticità generate dall'applicazione delle stesse che possano determinare la necessità di un aggiornamento.

La presente relazione riporta alcuni aspetti tecnici della procedura di valutazione dei dati di monitoraggio degli aeriformi che sono stati oggetto di discussione e di richieste di chiarimento nel corso del Tavolo con le imprese e gli esiti di una raccolta dati relativi sia alle aree all'interno dei Siti di Interesse Nazionale sia ai siti gestiti a livello regionale/locale con la finalità di monitorare l'applicazione delle Linee Guida e di identificare eventuali criticità.

2. CHIARIMENTI RELATIVI ALL'APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA SNPA SUL MONITORAGGIO DEGLI AERIFORMI

Nel corso delle due riunioni di confronto con le imprese è emersa la necessità di chiarire meglio i seguenti temi: il campo di applicazione delle Linee Guida, il ruolo della matrice aeriforme nel suolo nella valutazione dei siti, la procedura di validazione e gli algoritmi di calcolo e le modalità di valutazione degli interventi sulla matrice volatile. Di seguito sono riportate le indicazioni tecniche fornite da SNPA alle imprese.

2.1. Campo di applicazione delle Linee Guida

Benché le misure di aeriformi possano essere utilizzate nell'ambito di tutto il procedimento di bonifica ai sensi della Parte Quarta del Titolo V del D.Lgs 152/06 e s.m.i., le Linee Guida SNPA si riferiscono principalmente alla procedura di Analisi di Rischio perché in tale ambito si è consolidata l'esperienza di produzione e di gestione dei dati sia da parte delle Agenzie sia da parte dei proponenti. Come noto, infatti, l'introduzione di valori di concentrazione nella matrice aeriforme in ingresso nel calcolo del rischio è stata formalizzata nel 2014 dalla Linea Guida del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) "Analisi di Rischio sito-specifica" e dal successivo D.M. 31/2015 relativo ai punti vendita carburante, senza che fossero tuttavia indicate le modalità di utilizzo dei dati di monitoraggio degli aeriformi. La Linea Guida MATTM 2014 in particolare specificava che "le modalità di utilizzo di tali dati vengono definite nell'ambito dei singoli procedimenti sulla base delle indicazioni di Arpa e Asl [...]" (MATTM 2014). In questo contesto la procedura indicata nella Linea Guida SNPA 17/2018 rappresenta la modalità di utilizzo del dato sperimentale di soil gas, condivisa dal Sistema Nazionale con il contributo di ISS e INAIL, con l'obiettivo di omogeneizzare le indicazioni tecniche che la Linea Guida MATTM 2014 rimandava al parere di ARPA e ASL nei singoli procedimenti.

Il campo di applicazione delle Linee Guida SNPA è quindi la procedura di Analisi di Rischio: in particolare sia la Linea Guida 15/2018 (par. 3) sia la Linea Guida 17/2018 (par. 1) chiariscono che le procedure tecniche si riferiscono alle misure di aeriformi utilizzate "quando l'AdR effettuata a partire dai dati relativi ai terreni e/o alle acque sot-

terranee (per il percorso di volatilizzazione) dia risultati non conformi ai criteri di accettabilità previsti per legge” (SNPA, 2018a, SNPA 2018c).

2.2. Ruolo della matrice aeriforme nel suolo

Occorre precisare che ad oggi i gas interstiziali del sottosuolo, così come le altre matrici aeriformi oggetto delle Linee Guida SNPA non sono considerati una matrice ambientale associata al sito ai sensi del D.Lgs 152/06 e ss.mm.ii., non essendo infatti citati nella Parte IV del Titolo Quinto del Decreto, nel quale la definizione di sito contenuta all'art. 240 c. 1 lett. a) recita: *“l'area o porzione di territorio, geograficamente definita e determinata, intesa nelle diverse matrici ambientali (suolo, materiali di riporto, sottosuolo ed acque sotterranee) e comprensiva delle eventuali strutture edilizie e impiantistiche presenti”*. Pertanto, non è possibile individuare obiettivi di bonifica (CSR) nella matrice aeriforme.

Tuttavia, a partire dal Manuale APAT “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati” (APAT, 2008) per arrivare alle Linee Guida MATTM del 2014 e al D.M. 31/2015, è stata riconosciuta nel tempo a livello tecnico e normativo la maggiore “significatività” delle matrici aeriformi rispetto ai dati nei terreni e/o nelle acque per la valutazione dei rischi associati al percorso di inalazione dei vapori nell'ambito dei procedimenti di bonifica.

Le Linee Guida sul monitoraggio degli aeriformi danno indicazioni sulle modalità con cui effettuare la valutazione ambientale del sito utilizzando la frazione “mobile” degli inquinanti determinata nelle matrici aeriformi in alternativa al contenuto “totale” misurato nella matrice terreno/acqua.

Le indicazioni fornite dai documenti SNPA permettono di garantire un approccio metodologico univoco tra la definizione del modello concettuale, la gestione dei dati e la verifica di avvenuta bonifica. Infatti, il presupposto è che, qualora per la valutazione dello stato di contaminazione del sito vengano utilizzati i dati relativi alle matrici aeriformi perché ritenuti più significativi rispetto ai dati delle matrici suolo/acque di falda, la stessa metodologia di valutazione (basata sui dati registrati negli aeriformi) dovrà essere utilizzata per gli eventuali interventi sulla frazione volatile e/o misure di mitigazione del rischio.

Infatti, la contaminazione della matrice aeriforme, pur essendo generata dalla contaminazione di terreni e/o acque di falda, è estremamente mobile, se-

gue percorsi preferenziali di migrazione e può presentare peculiarità nella distribuzione nel sottosuolo e nelle zone di emissione. Pertanto, è opportuno, ai fini della valutazione ambientale, che tale matrice sia considerata autonomamente. È ovvio, tuttavia, che una contaminazione rilevata nella matrice aeriforme del suolo deve scaturire necessariamente da una contaminazione delle matrici terreno e/o acque di falda.

2.3. Procedura di valutazione dei monitoraggi degli aeriformi ed algoritmi di calcolo

La procedura di valutazione del rischio a partire dai dati di soil gas indicata nella Linea Guida 17/2018 (inclusi gli algoritmi di calcolo, i parametri di input e i fattori di trasporto) non può essere applicata alla matrice terreno e/o acque di falda per le quali si ritengono validi i modelli e i parametri indicati nel Manuale “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati” del 2008 (APAT, 2008).

Parimenti occorre specificare che l'utilizzo dei modelli indicati nel Manuale APAT (2008) è invece necessario per la definizione delle cosiddette “CSR da modello” per i terreni e le acque sotterranee, di cui allo schema della procedura (Fig. 1 a pagina successiva) indicato della Linea Guida 17/2018 (SNPA, 2018c).

Il Manuale APAT (2008) per la stima dei fattori di trasporto e delle concentrazioni attese ai punti di esposizione (POE) ha selezionato le equazioni di trasporto (modelli analitici) a partire dai dati nei terreni e nelle acque sotterranee. Non è stata invece prevista l'applicazione di “nuove” equazioni di trasporto (derivate da quelle presenti del Manuale) applicate alle matrici aeriformi (gas del suolo) né per la stima del rischio né per la valutazione delle CSR, ma si è indicata solo l'opportunità di utilizzare le misure di aeriformi per la “verifica” dei risultati ottenuti applicando la modellistica a terreni e acque. Le Linee Guida SNPA (SNPA, 2018a, SNPA 2018c) pertanto non hanno ritenuto opportuno, sulla base delle esperienze maturate di ISPRA e dalle Agenzie e sulla base delle sperimentazioni condotte in campo, l'utilizzo di “parti” dei modelli analitici di trasporto indicati nel Manuale APAT (2008) per l'applicazione ai dati di soil gas ai fini della valutazione del rischio ad essi associato, né il “calcolo” di CSR nei terreni e/o nelle acque di falda a partire dai dati di monitoraggio delle matrici aeriformi.

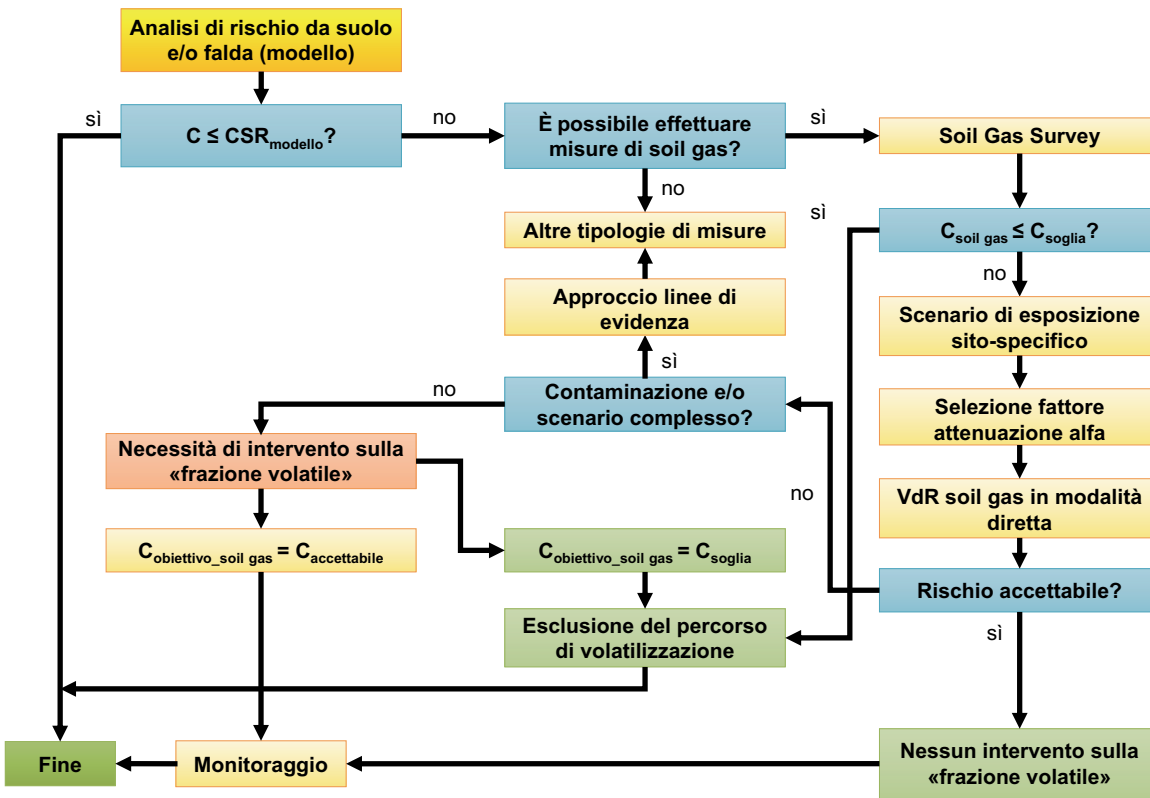


Figura 1 – Schema della procedura operativa di valutazione – Linea Guida SNPA 17/2018 (SNPA, 2018c)

2.4. Valutazione della necessità degli interventi sulla frazione volatile e della loro efficacia

Qualora la procedura prevista dalle Linee Guida 15/2018 e 17/2018 dia valori di rischio non accettabile associati al percorso di inalazione vapori, l’Ente di Controllo potrà richiedere ulteriori monitoraggi e considerare la necessità di interventi sulle fonti di contaminazione da sostanze volatili. Tra le alternative disponibili è valutata anche la possibilità di mettere in atto misure di mitigazione del rischio a protezione dei bersagli (SNPA, 2018c).

In caso di necessità di interventi sulla frazione volatile e/o di misure di mitigazione del rischio, le verifiche di raggiungimento degli obiettivi andranno effettuate utilizzando la stessa tipologia di monitoraggio impiegata per la valutazione dello stato di contaminazione del sito (soil gas survey e/o misure di flusso). Si riconosce, infatti, che le concentrazioni nell’insaturo e nel saturo possono essere state modificate dagli interventi attuati, ma non si ritiene tecnicamente coerente la verifica dell’efficacia degli interventi attraverso una caratterizzazione post-intervento delle matrici suolo e/o acque di falda. La stessa Linea Guida MATTM “Analisi di Rischio sito-specifica” del 2014 prevede che i monitoraggi degli aeriformi possano esse-

re utilizzati “per verificare l’efficienza/efficacia degli interventi” (MATTM, 2014).

Tuttavia, a valle degli interventi di risanamento del sito, nel caso di nuove indagini o monitoraggi, dovrà essere verificato sia il rispetto delle CSR per i terreni/acque di falda, mediante opportuni campionamenti delle matrici ambientali, sia il rispetto dei valori obiettivo nella frazione volatile mediante campagne di monitoraggio degli aeriformi.

3. MONITORAGGIO DELL’APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA

Al fine di verificare lo stato di applicazione delle Linee Guida SNPA sul monitoraggio degli aeriformi nei siti contaminati ed in particolare della procedura delineata nella Linea Guida SNPA 17/2018 è stata predisposta dal Sottogruppo Operativo (SO) VI/03-05 “Soil gas” di SNPA (che prosegue le attività del GdL 9 bis) una raccolta dati che riguarda sia i procedimenti relativi ai Siti di Interesse Nazionale sia i procedimenti gestiti a livello regionale/locale.

I dati si riferiscono al periodo 16/11/2018 (pubblicazione delle Linee Guida) – 01/12/2019.

I dati raccolti dalle Agenzie riguardano 7 Regioni: Abruzzo, Campania, Piemonte, Lazio, Lombardia,

Marche e Veneto. Per i Siti di Interesse Nazionale (SIN) i dati si riferiscono alle aree in cui sono state applicate le Linee Guida nel periodo di riferimento. Nel caso le indagini siano state progettate per singola subarea/sorgente, i dati si riferiscono alla specifica subarea/sorgente oggetto di valutazione. Qualora il sito (o area per i SIN) non sia stato suddiviso in subaree/sorgenti, le informazioni riguardano l'intero sito (o area).

Per quel che concerne gli esiti della valutazione (eccedenze delle Concentrazioni Soglia e/o risultati della valutazione del rischio), a mero scopo conoscitivo, si è fatto riferimento anche al numero totale di campionamenti in tutte le campagne eseguite per ciascun sito/subarea. Si ricorda, infatti, che nelle Linee Guida SNPA viene espressamente indicato che il confronto con i valori soglia e/o la valutazione di rischio devono essere effettuati per ciascuna campagna utilizzando il valore di concentrazione rappresentativa delle sonde afferenti alla specifica sorgente/subarea o, al limite, all'intero sito.

3.1. Monitoraggio delle Linee Guida nei siti regionali/locali

I siti/subaree censiti nelle 7 Regioni oggetto del survey sono in totale 146.

ARPA Lombardia (circa il 50% dei siti/subaree), al fine di valutare l'impatto su un numero più robusto di dati, ha effettuato le elaborazioni dei dati con il software Rome plus di SNPA sulla totalità delle campagne effettuate, includendo anche i procedimenti in cui le Linee Guida non erano state applicate.

Nel caso dell'Abruzzo (circa il 15% dei siti/subaree) i dati si riferiscono in misura importante anche ai monitoraggi effettuati direttamente da ARTA.

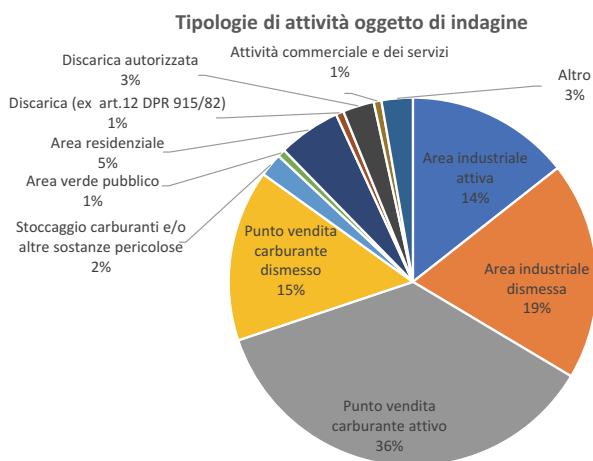


Figura 2 – Attività oggetto di monitoraggio degli aeriformi (siti regionali/locali)

Tabella 1 – Caratteristiche delle sonde e dei terreni oggetto di indagine

Profondità sonde		Tipologie terreno indagato	
< 2,5 m da p.c.	85%	Molto grossolano	5%
2,5-4 m da p.c.	12%	Grossolano	52%
4-9 m da p.c.	2%	Fine	37%
≥ 9 m da p.c.	1%		
Totale sonde considerate 734		Totale sonde considerate 687	

La tipologia di siti indagati (Fig. 2) è rappresentata per circa il 50% da punti vendita carburante, mentre le aree industriali interessano il 33% dei siti.

Si osserva (Fig. 3) che la maggior parte dei monitoraggi è richiesta nella fase di elaborazione dell'analisi di rischio sito-specifica (56% dei casi), anche se non è trascurabile l'utilizzo delle indagini in fase di caratterizzazione (30%).

Le sonde per il soil gas survey sono prevalentemente superficiali, mentre gli orizzonti di terreno indagati dai monitoraggi sono per il 60% materiali ad alta permeabilità e per il 40% a permeabilità medio/basse (Tab. 1).

3.1.1. Esiti dell'applicazione delle Linee Guida SNPA

La valutazione degli esiti dell'applicazione delle Linee Guida SNPA è stata effettuata su 123 siti/subaree. Nell'elaborazione dei dati si è fatto riferimento sia alla valutazione "globale" dei siti/subaree sia alla valutazione delle singole sonde (numero totale di campionamenti effettuati in ciascuna sonda). Quest'ultima informazione rappresenta un indicatore dell'estensione del problema (superamento dei valori soglia o non accettabilità dei rischi) all'interno dei singoli siti/subaree.

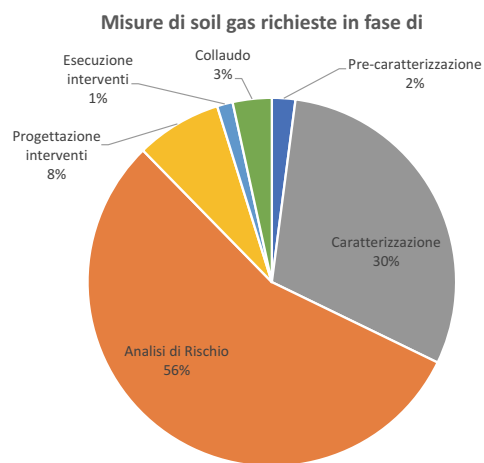


Figura 3 – Utilizzo dei monitoraggi soil gas survey (siti regionali/locali)

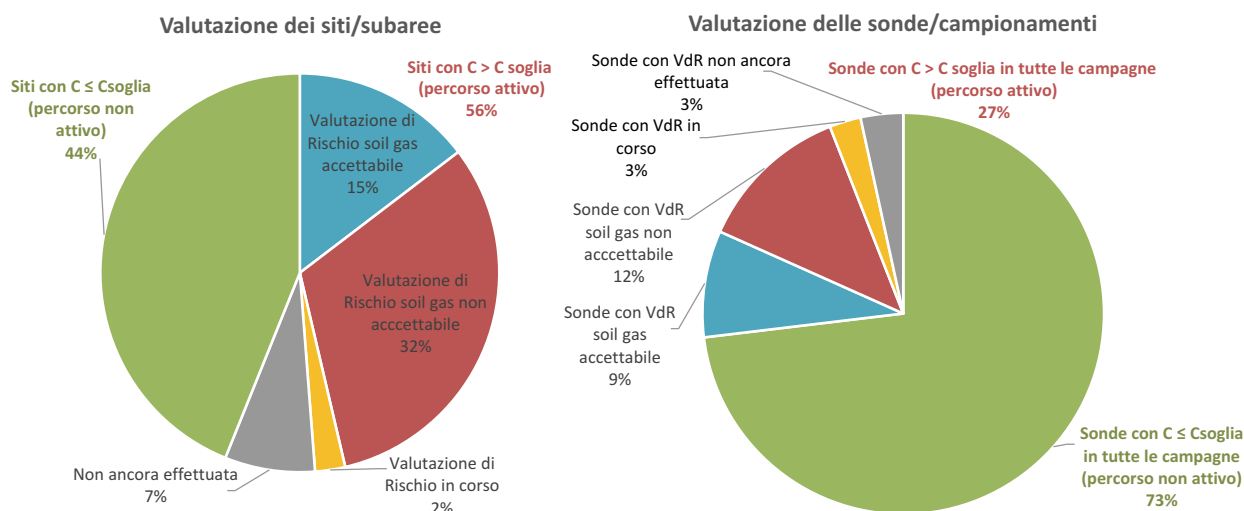


Figura 4 – Esiti dell'applicazione delle Linee Guida SNPA (siti regionali/locali)

I risultati (Fig. 4) mostrano che il 44% dei siti/subaree non presenta eccedenze dei valori soglia in nessuna delle sonde indagate e pertanto è possibile concludere che il percorso di volatilizzazione non è attivo. Nel 15% dei casi la VdR soil gas ha restituito valori di rischio accettabile. Viceversa, risultano criticità (valori di rischio non accettabili associati ai monitoraggi dei gas – VdR soil gas non accettabile) nel 32% dei casi. Nel 9% dei siti/subaree le valutazioni sono ancora in corso.

Occorre però sottolineare che in molti casi non sono state eseguite tutte le campagne di monitoraggio programmate e che, quindi, in conformità alla Linea Guida SNPA 17/2018, la non accettabilità dei rischi riscontrata in una sola campagna non determina necessariamente necessità di interventi sulla frazione volatile.

Se ci riferisce, invece, alle sonde/campionamenti, la percentuale dei casi in cui il percorso di volatilizzazione non è attivo sale al 73% ($C < C_{soglia}$) e si registrano criticità solo nel 12% delle sonde monitorate in tutte le campagne.

Le criticità maggiori si registrano nei siti/subaree con esposizione indoor (33%) o con la presenza di entrambe le modalità di esposizione (51%). La sola esposizione in ambienti aperti (outdoor) determina solo il 16% dei casi di non accettabilità dei rischi.

Per quel che concerne infine le tipologie di siti che presentano criticità (rischio non accettabile), non si registrano sostanziali differenze di distribuzione rispetto ai siti oggetto di indagine. Infatti, nel 51% dei casi i siti potenzialmente critici sono punti vendita carburante, seguiti dai siti oggetto di attività industriali (33%).

3.2. Monitoraggio delle Linee Guida nei Siti di Interesse Nazionale

All'interno dei Siti di Interesse Nazionale ISPRA ha raccolto 115 casi di applicazione delle Linee Guida. I casi si riferiscono a specifiche subaree/sorgenti oggetto di analisi di rischio oppure all'intera area/sito incluso nel perimetro del SIN. La totalità delle 342 sonde per il *soil gas survey* è di tipo superficiale e nel 95% dei casi interessa terreni ad alta permeabilità.

3.2.1. Esiti dell'applicazione delle Linee Guida SNPA

La valutazione degli esiti dell'applicazione delle Linee Guida SNPA è stata effettuata su 123 siti/subaree. Nell'elaborazione dei dati si è fatto riferimento sia alla valutazione "globale" dei siti/subaree sia alla valutazione delle singole sonde (numero totale di campionamenti effettuati in ciascuna sonda). Quest'ultima informazione rappresenta un indicatore dell'estensione del problema (superamento dei valori soglia o non accettabilità dei rischi) all'interno dei singoli siti/subaree.

Nel caso dei SIN (Fig. 5), l'applicazione delle Linee Guida SNPA ha determinato che il percorso di volatilizzazione non risulta attivo nel 62% delle aree/subaree oggetto dello studio. La VdR soil gas ha restituito valori di rischio non accettabile nel 14% dei casi.

Per quel che concerne le sonde/campionamenti, l'87% dei dati risulta inferiore ai valori soglia (percorso non attivo), mentre solo il 4% delle sonde ha determinato criticità in termini di rischio non accettabile da inalazione vapori.

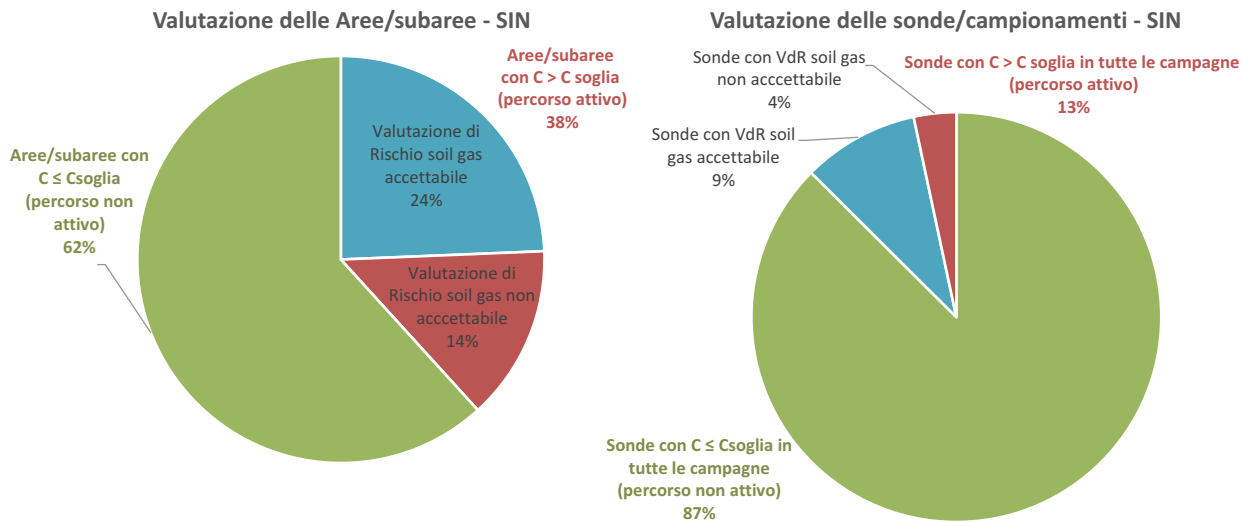


Figura 5 – Esiti dell'applicazione delle Linee Guida SNPA (SIN)

Nei SIN le principali criticità si osservano nel caso di esposizione sia outdoor sia indoor (56% delle aree/subaree). L'esposizione outdoor nei SIN gioca un ruolo più importante rispetto ai siti regionali/locali (44% dei siti/subaree) probabilmente viste le dimensioni più importanti delle aree interessate.

Se si guarda inoltre la distribuzione di frequenza delle classi di contaminanti che hanno determinato criticità, si osservano ulteriori differenze tra i siti regionali/locali e le aree incluse nei SIN (Fig. 6). Le frazioni volatili idrocarburiche rappresentano in assoluto la classe critica più frequente. Tuttavia, mentre nei siti regionali/locali anche gli aromatici

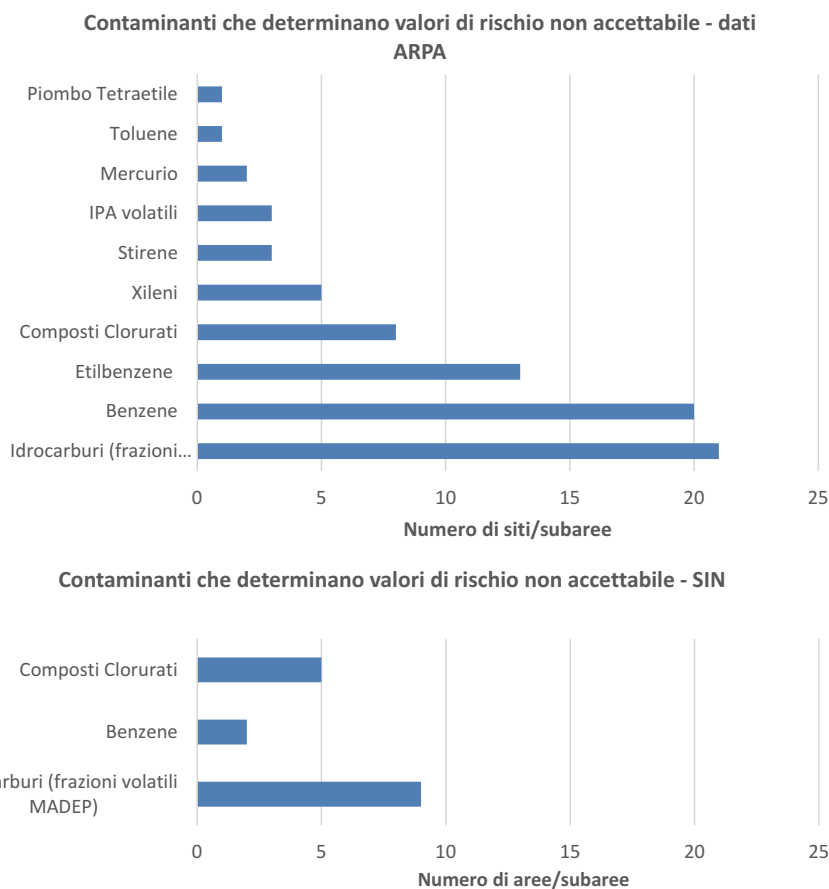


Figura 6 – Contaminanti che determinano valori di rischio non accettabile

(Benzene, Etilbenzene e Xileni) rappresentano la seconda componente più importante in termini di non accettabilità dei rischi, nei SIN invece i composti clorurati sono tra le classi più critiche. Ciò può essere facilmente spiegabile dal fatto che mentre la maggior parte dei siti regionali/locali è rappresentata da punti vendita carburante, nei SIN predominano i grandi complessi industriali.

4. CONCLUSIONI

Il primo anno di applicazione delle Linee Guida SNPA sul monitoraggio degli aeriformi nei siti contaminati è stato caratterizzato da un confronto tecnico tra SNPA ed imprese in particolare sulle procedure di valutazione dei dati di monitoraggio. Gli spunti di riflessione portati al tavolo dalle imprese hanno spinto SNPA, ed in particolare il Sottogruppo Operativo VI/03-05 “Soil gas” di SNPA (che prosegue le attività del GdL 9 bis), a lavorare sulle seguenti criticità:

- chiarire meglio alcuni aspetti delle Linee Guida per un loro corretto inquadramento ed applicazione nell’ambito del procedimento di bonifica;
- aumentare la conoscenza e la divulgazione dei contenuti tecnici delle Linee Guida all’interno del SNPA attraverso una efficace attività formativa per avere un’applicazione il più possibile omogenea ed efficace delle stesse da parte dei tecnici impegnati nell’attività di controllo;
- divulgare i contenuti tecnici delle Linee Guida anche all’esterno di SNPA (partecipando a Convegni e Seminari) in maniera da renderne correttamente edotti anche i progettisti impegnati nell’ambito delle attività nei siti contaminati;
- monitorare l’applicazione delle Linee Guida sia nei SIN sia a livello territoriale in maniera da avere una verifica dell’impatto delle nuove procedure sulla gestione dei siti ed identificare eventualmente delle criticità.

Per quel che concerne l’attività di formazione delle Agenzie SNPA ha programmato un piano di formazione nazionale coordinato per la parte tecnico/scientifica dal SO “Soil gas”.

La raccolta dati relativa ai Siti di Interesse Nazionale e ai siti gestiti a livello regionale/locale, ha dimostrato che l’applicazione delle Linee Guida, ad oggi, non determina in generale criticità rilevanti (in termini di numero di siti e di sonde di monitoraggio che determinano valori di rischio non accettabile), pur constatando che le attività petrolifere siano quelle maggiormente impattate (in quanto rappresentano i siti ove si effettua il maggior nu-

mero di monitoraggi). Viceversa, l’utilizzo dei valori soglia e la valutazione di rischio applicata ai monitoraggi sembrerebbero raggiungere l’obiettivo di risparmiare risorse ed energie nei siti non significativi per concentrarle nei casi dove potenzialmente potrebbe esserci un problema.

Per consolidare questi risultati il SO “Soil gas” intende rendere stabile e continuativa la raccolta dati sull’applicazione delle Linee Guida estendendola a tutto il territorio nazionale.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- APAT (2008). Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio ai siti contaminati. Gruppo di Lavoro APAT-ISS-ISPEL-ARPA-APPA “Analisi di Rischio”.
- D.Lgs n. 152/2006 e s.m.i. (2006). Norme in materia ambientale (Titolo V della Parte IV e Allegati).
- D.M. n. 31/2015 (2015). Decreto del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare contenente Regolamento recante criteri semplificati per la caratterizzazione, messa in sicurezza e bonifica dei punti vendita carburanti, ai sensi dell’articolo 252, comma 4, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.
- MATTM (2014). Linee Guida per l’applicazione dell’Analisi di Rischio sito-specifica del 2014 (prot. n. 29706/TRI del 18/11/2014).
- MATTM (2015). Linee Guida sull’analisi di rischio ai sensi del D.Lgs 152/2006 e s.m.i. – Testo condiviso trasmesso con nota MATTM prot. n. 29706/TRI del 18.11.2014 – Errata Corrige (prot. n. 2277/STA del 19/02/2015).
- SNPA (2018a). Progettazione del monitoraggio di vapori nei siti contaminati. Linea Guida SNPA 15/2018.
- SNPA (2018b). Metodiche analitiche per le misure di aeriformi nei siti contaminati. Linea Guida SNPA 16/2018.
- SNPA (2018c). Procedura operativa per la valutazione e l’utilizzo dei dati derivanti da misure di gas interstiziali nell’analisi di rischio dei siti contaminati. Linea Guida SNPA 17/2018.
- USEPA (2012). EPA’s Vapor Intrusion Database.
- USEPA (2015a). Assessing and Mitigating the Vapor Intrusion Pathway from Subsurface Vapor Sources to Indoor Air.
- USEPA (2015b). Technical Guide for Addressing Petroleum Vapor Intrusion at Leaking Underground Storage Tank Sites.

RINGRAZIAMENTI

Per aver fornito i dati disponibili a livello regionale indispensabili a questo studio si ringraziano la Dott. Elisabetta Ballarini di ARPA Marche, il Dott. Maurizio Di Matteo di ARPA Lazio, il Dott. Federico Fuin di ARPA Veneto e la Dott. Valentina Sammartino di ARPA Campania.

Si ringrazia inoltre l’Ing. Adele Lo Monaco di ARPAE Emilia-Romagna per i preziosi spunti tecnici proposti nei tavoli di confronto con le imprese e riportati nella presente memoria.

CON CARTA E CARTONE L'ECONOMIA CIRCOLA CHE È UN PIACERE.



La buona notizia? L'economia circolare di carta e cartone è un fiore all'occhiello del Paese per risultati e capacità di generare benefici per la comunità, l'ambiente e l'economia. Pensaci: tutte le volte che fai una buona raccolta differenziata di carta e cartone fai partire un circolo virtuoso, sottrai materiali preziosi alla discarica e alimenti l'industria del riciclo. È così che il cerchio si chiude e si riapre all'infinito. Al centro c'è Comieco, il consorzio nazionale senza scopo di lucro che con la sua rete di impianti fa in modo che tutto il meccanismo funzioni. Una garanzia per tutti gli Italiani.

Da 35 anni nuova vita
alla carta. Insieme.

comieco.org



PACK IN CARTA E CARTONE PROTAGONISTI DELL'ECONOMIA CIRCOLARE

SINTESI DEI RISULTATI COMIECO 2019

Grazie alle sinergie attivate, in oltre un ventennio di attività, Comieco ha raggiunto con successo, e in anticipo, gli obiettivi prefissati dalla normativa, portando benefici economici, sociali ed ambientali all'intera collettività, a dimostrazione che il riciclo degli imballaggi di carta e cartone "conviene".

I dati preconsuntivi 2019 delineano un anno che si caratterizza per la sua stabilità rispetto ai risultati di riciclo, saldo sull'80%, nonostante le problematiche emerse soprattutto nella seconda metà dell'anno; vengono pertanto superati non solo agli obiettivi attuali, ma anche a quelli previsti per il 2025 (75% per i rifiuti di imballaggio di carta e cartone).

Dopo anni di crescita costante si registra per il 2019 una flessione di circa l'1% degli imballaggi immessi al consumo, in linea con i dati europei ed italiani di settore.

A fronte di un consumo che sfiora i 5 milioni di tonnellate, vengono riciclate circa 4 milioni di tonnellate di rifiuti di imballaggio. Rispetto alla provenienza di tali rifiuti si registra una maggiore presenza di imballaggi nelle raccolte domestiche. Ricordiamo che l'impegno economico e gestionale assunto da Comieco è volto a garantire sempre e comunque il riciclo e la raccolta differenziata degli imballaggi nelle raccolte urbane. Comieco dunque non

produce carta o cartone, non li trasforma, non li distribuisce, e non raccoglie direttamente i rifiuti di imballaggio: con un organico di poche decine di collaboratori il Consorzio è però al centro di questo ciclo economico e produttivo, garantendone il funzionamento.

Anche nel 2019 si è privilegiato un approccio locale alla comunicazione, per implementare la raccolta differenziata domestica di aree specifiche del paese. A queste attività si sono affiancate iniziative nazionali, in modo da mantenere una uniformità anche geografica dei messaggi di cui Comieco si fa promotore.

La quota di raccolta differenziata comunale di carta e cartone gestita dal Consorzio torna ad incrementarsi dopo anni in cui si era progressivamente ridotta. Rispetto al 42,4% del 2018 le quantità gestite da Comieco arrivano al 59% del totale delle raccolte comunali. La perdurante incertezza del mercato dei materiali da riciclo e la debolezza dei prezzi porta i Comuni, o i gestori delegati, a chiedere al Consorzio la presa in carico del materiale per riciclo. Questo è avvenuto soprattutto nell'area settentrionale del paese dove la crescita dei volumi affidati a Comieco (quasi 440mila tonnellate) riporta il tasso di copertura ben sopra il 50% a fronte di un dato del 30% nel 2018.

Cresce pertanto il numero dei comuni convenzionati (+14,35%) portando la popolazione servita in conven-

Calcolo delle percentuali di riciclo e recupero (valori in tonnellate)	Anno 2018	Anno 2019	Variazione % 2019/2018
Imballaggi cellulosici immessi al consumo	4.992.056	4.938.994	-1,06%
Rifiuti da imballaggio cellulosici presenti nella carta e cartone da riciclare di tipologia 1.01 e 1.02, riciclati in Italia	380.642	470.686	23,66%
Rifiuti da imballaggio cellulosici presenti nella carta e cartone da riciclare di tipologia 1.04 e 1.05, riciclati in Italia	2.289.336	2.187.694	-4,44%
Rifiuti da imballaggio avviati al riciclo all'estero	1.321.864	1.330.489	0,65%
Totale rifiuti da imballaggio cellulosici conferiti al riciclo	3.991.842	3.988.869	-0,07%
Imballaggi cellulosici recuperati come energia	373.822	377.011	0,85%
Imballaggi cellulosici recuperati	4.365.664	4.365.880	0,00%
% Riciclo	79,96%	80,76%	0,80%
% Recupero energetico	7,49%	7,63%	0,15%
% Recupero	87,45%	88,40%	0,94%

Tabella: Sintesi dati 2019

zione a circa 54,3 milioni di persone (+ 9,26% rispetto al 2018). Parimenti cresce anche l'impegno economico del consorzio che nel 2019 ha versato ai comuni poco più di 160 milioni di euro.

Il 2019 è l'anno in cui assistiamo inoltre ad un importante cambiamento nelle scelte dei convenzionati per quanto riguarda le frazioni merceologiche similari (carta grafica o altri manufatti in carta non imballaggi) a causa del crollo dei valori di mercato.

Anno	N. convenzioni	Comuni serviti		Popolazione coperta	
		Numero	% sul totale Italia	Numero (milioni)	% sul totale Italia
2018	914	5.506	67,5	49,7	81,2
2019	1.012	6.296	77,4	54,3	88,9

I volumi in capo a Comieco tornano a superare i 2 milioni di tonnellate, soglia superata solo nel biennio 2009/2010. Negli anni successivi a tale periodo, le modifiche introdotte all'Allegato Tecnico e le condizioni del mercato delle materie prime da recupero avevano portato le quantità gestite stabilmente a 1,4-1,5 milioni di tonnellate annue, con la parte preponderante costituita da imballaggi (circa 1 milione di tonnellate/anno) (Figura 1).

Nell'ambito delle convenzioni sono state gestite e avviate al riciclo 2,03 milioni di tonnellate di carta e cartone a fronte di una raccolta differenziata urbana complessiva che nel 2019, sulla base dei dati preliminari, arriverà a sfiorare i 3,5 milioni di tonnellate.

Le cartiere italiane sono dislocate sul tutto il territorio nazionale (si veda la cartina allegata) e hanno una capacità di riciclo di circa 6 milioni di tonnellate (fonte Assocarta). Nelle regioni Lombardia, Veneto e Piemonte sono ubicate cartiere che garantiscono circa il 40% del riciclo del materiale cartaceo proveniente dalla raccolta differenziata nazionale (esclusi quindi i resi dei giornali oppure gli

scarti della lavorazione). Le cartiere garantiscono il riciclo di quanto raccolto nelle tre Regioni ma non solo: esse ricevono mensilmente il 26% di quanto affidato a Comieco dai Comuni del Sud (Figura 2).

LE ATTIVITÀ DI PREVENZIONE

Nel 2019 cresce l'ecodesign degli imballaggi, come pure maggiore è l'attenzione che viene rivolta alla riciclabilità degli imballaggi accoppiati a prevalenza carta. Le aziende hanno a disposizione metodiche di analisi per la determinazione della riciclabilità, il cui risultato consente ai produttori e utilizzatori di materiali o prodotti a prevalenza cellulosa di verificare e successivamente comunicare ai propri clienti il livello di riciclabilità dei propri beni, valorizzandone le caratteristiche di ecosostenibilità.

Comieco, in stretto coordinamento con CONAI, ha come obiettivo il raggiungimento dei traguardi fissati dalla normativa europea e nazionale sul riciclo e sul recupero degli imballaggi cellulosici, nel rispetto della gerarchia della gestione che vede al primo posto la "prevenzione".

Proprio la prevenzione degli imballaggi è protagonista del Bando Prevenzione di CONAI che annualmente mette a disposizione 500.000,00 € per valorizzare la sostenibilità ambientale degli imballaggi immessi al consumo e per favorire e diffondere tra le imprese una cultura di sostenibilità ambientale.

Gli imballaggi sostenibili sono anche i protagonisti di Best Pack la banca dati in cui il Consorzio raccoglie i casi di eco-imballaggi in carta e cartone premiati nell'ambito di prestigiosi Awards in tutto il mondo, tra cui anche quelli premiati dal Bando Prevenzione CONAI.

La banca dati contiene attualmente circa un migliaio di casi di ecoimballaggi cellulosici che sul mercato meglio rappresentano soluzioni sostenibili e che hanno ottenuto riconoscimenti grazie agli interventi sul prodotto o sul processo, dalla progettazione, al consumo, allo smaltimento.

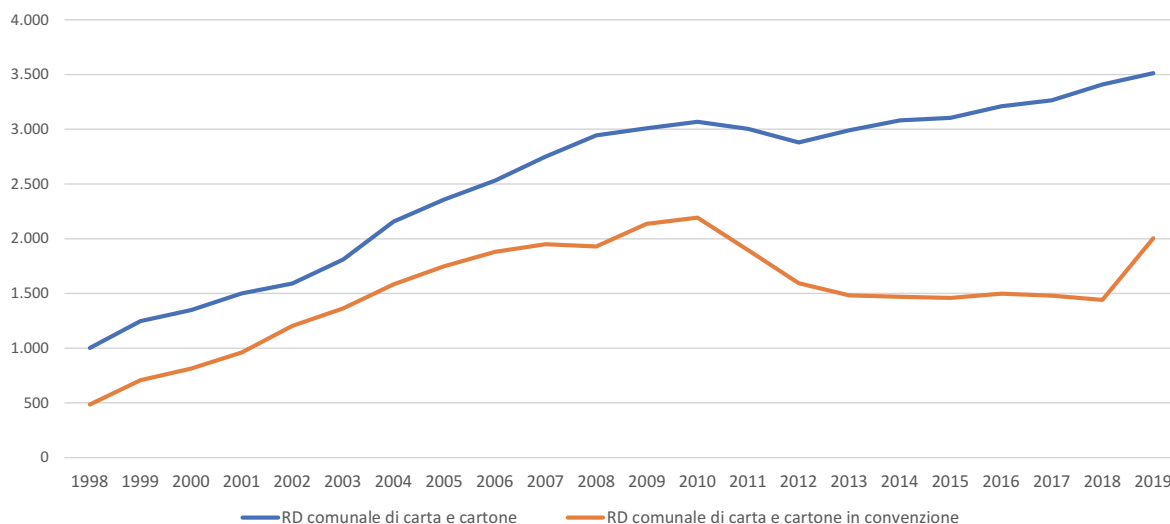


Figura 1 – Serie storica raccolta differenziata comunale e gestita Comieco

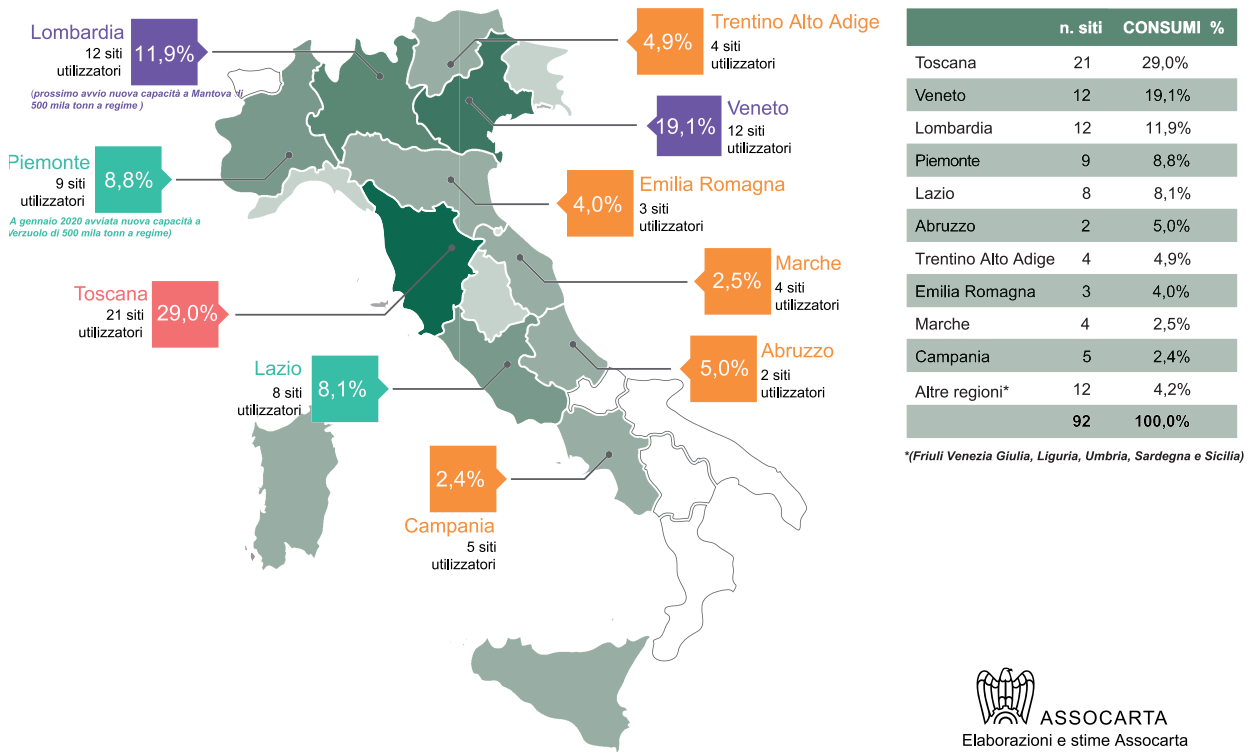


Figura 2 – Capacità di riciclo in Italia nel 2019 – Distribuzione territoriale del consumo di carta da riciclare. Nel 2019 le cartiere italiane hanno reimmesso nel ciclo produttivo quasi 5,06 milioni di tonnellate di carta da riciclare.

Best Pack è uno strumento per l’eco-design a favore di imprese, progettisti e retailer, e permette di tracciare i trend nazionali e internazionali dell’eco-packaging celluloso, dall’Italia a Singapore, dalla Repubblica Ceca alla Spagna riunendo esempi di packaging innovati e sostenibili in vari campi tra cui l’e-commerce.

Il packaging per l’e-commerce è il protagonista delle attività svolte da Comieco in collaborazione con Netcomm, Consorzio del Commercio Elettronico Italiano. Nel 2019 nell’ambito del Netcomm Forum sono state presentate le “Linee guida e checklist per il corretto uso del packaging per l’e-commerce ai fini della sostenibilità ambientale” per fornire alle aziende e-commerce e le imprese della filiera logistica strumenti pratici per gestire al meglio l’impatto ambientale del packaging.

Il mondo del packaging si muove quindi in un contesto multidisciplinare che giustifica l’orientamento delle attività di Comieco nella ricerca affinché abbiano incidenza in materia di prevenzione dei rifiuti, progettazione, produzione e distribuzione degli imballaggi e consumo e utilizzo degli stessi.

Le iniziative messe in atto negli anni si traducono in una molteplicità di interventi: dalla collaborazione con le Università per la progettazione di imballaggi in carta e cartone, alla realizzazione di strumenti per le aziende consorziate produttrici e utilizzatrici di packaging, alla valorizzazione del packaging sostenibile, alle analisi per rispondere al mutamento dei nostri stili di vita, al monitoraggio delle innovazioni del packaging sul mercato nazionale e internazionale.

In questi ultimi anni Comieco ha rafforzato le attività a supporto delle aziende consorziate e oggi dedica nuove risorse al loro passaggio da un’economia lineare a quella circolare, individuando nell’attività di ricerca e sviluppo la chiave per migliorare le performance di riciclo verso una maggior efficienza dei processi e verso una sempre maggiore valorizzazione dei quantitativi di imballaggi avviati a riciclo.

A fronte del 90% degli imballaggi cellulose recuperati ogni anno in Italia per merito della raccolta differenziata effettuata dai cittadini, lo sviluppo progettuale degli imballi assume un’importanza strategica sia per la conservazione dei prodotti e del cibo in particolare, sia per garantire il corretto riciclo e la possibilità dello sviluppo dell’economia circolare.

Mentre la norma UNI 11743:2019 definisce la procedura di laboratorio, la definizione dei criteri di valutazione del livello di riciclabilità è in capo ad Aticelca che con il “Sistema di Valutazione Aticelca 501” ha introdotto l’etichettatura RICICLABILE CON LA CARTA – Aticelca® 501: nel 2019 sono quasi triplicate rispetto al 2018 le aziende italiane che hanno ottenuto l’uso dell’etichettatura RICICLABILE CON LA CARTA – Aticelca® 501, per un totale di 271 concessioni.

Per informazioni: **Comieco**, Cons. Naz. Recupero e Riciclo degli imballaggi a base Cellulosica

www.comieco.org





STANDING IN PERFORMANCE

Attuatori elettrici per il settore idrico

Affidabili, potenti, efficienti. AUMA offre una vasta gamma di attuatori e riduttori per tutte le esigenze.

- Automazione per tutti i tipi di valvole industriali
- Integrazione con i principali sistemi di controllo
- Elevata protezione dalla corrosione
- Assistenza e training su tutto il territorio nazionale



www.auma.it

auma[®]
Solutions for a world in motion

INTERVISTA AD ALESSANDRO PRINA

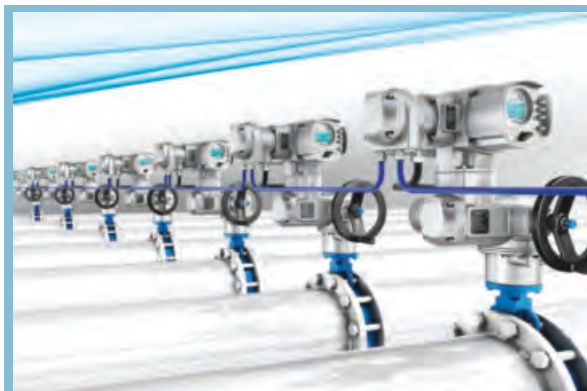
Responsabile dei settori PWI di AUMA Italiana

Il settore delle acque è per AUMA uno dei settori principali in cui l'azienda opera. Grazie ad una pluriennale attività, in termini di produzione e fornitura di attuatori elettrici, e di servizi di assistenza per i clienti, AUMA è sinonimo di garanzia per quanto riguarda l'intera gestione del ciclo dell'acqua. Quest'ultimo, dalla fase di captazione alla fase finale di restituzione, richiede una complessa serie di attività e di investimenti. È per rispondere alle richieste di strumenti innovativi e di soluzioni sempre più performanti che AUMA Italiana continua a mettere a punto un'offerta sempre più integrata per i nuovi impianti.

Nonostante gli investimenti non siano ancora molto significativi, questo settore è comunque in crescita e i grandi player stanno cercando di dare concreta attuazione ai molti progetti di sviluppo proposti, tra cui emergono quelli per ridurre le perdite, per automatizzare i flussi di informazioni degli impianti per consentire interventi di manutenzione più tempestivi e per ammodernare l'intera rete idrica nazionale.

Tra i segmenti del ciclo dell'acqua ritenuto di fondamentale importanza c'è sicuramente quello della gestione delle acque reflue e della depurazione. AUMA Italiana, ad esempio, ha realizzato per un impianto di depurazione in Veneto un sistema che utilizza l'innovativa tecnologia del bus di campo. Come conferma Alessandro Prina, responsabile dei settori PWI di AUMA Italiana, il bus di campo è disponibile da molti anni, ma soltanto di recente è l'interfaccia più utilizzata per questa tipologia di impianti.

Altri nuovi sistemi di trasmissione per collegare gli attuatori ai sistemi di gestione centralizzata a mezzo di rete ethernet, sono il Modbus TCP/IP e PROFINET. Pur collegando a loro volta gli attuatori al sistema centrale di gestione integrata, a differenza del tradizionale bus di campo che usa un semplice doppiino schermato, con il Modbus TCP/IP e PROFINET gli attuatori sono collegati su



Il bus di campo

Interfaccia di comunicazione che collega gli attuatori elettrici inseriti nell'impianto, con un sistema a linea singola o ridondata. Il comando seriale che passa da un attuatore all'altro, fino alla stazione di comando, gestisce sia i comandi che le segnalazioni sul funzionamento dei componenti, creando una linea bus passante tra gli attuatori. La comunicazione diventa dunque un loop che, in forma ciclica e aciclica, passa in ogni attuatore. Poiché permette di ridurre le complesse attività di cablaggio, questa tecnologia si usa prevalentemente quando ci sono grandi concentrazioni di componenti in campo.

una rete Ethernet direttamente al comando centrale attraverso i cavi Ethernet e attacchi RJ45.

Tutte queste interfacce di comunicazione sono state create per rispondere alle richieste dei costruttori di impianti orientati verso nuove tecnologie che utilizzino protocolli internazionali aperti, consentendo di collegare diverse tipologie di componenti: attuatori, sensori, misuratori.

In questo modo si crea un sistema di comunicazione condiviso che permette di facilitare e semplificare il passaggio di informazioni e di ridurre i tempi di intervento in caso di guasto o malfunzionamento degli impianti.

AUMA può produrre attuatori con triplice interfaccia di comando: analogica, digitale o bus per facilitarne l'installazione all'utilizzatore finale che può decidere quale comando utilizzare.

La richiesta di questi sistemi di interfaccia è in aumento perché questa tecnologia viene utilizzata anche sul rifacimento di impianti già esistenti per migliorarne il livello di automazione, con notevoli vantaggi in termini di efficienza e di sicurezza. Ad esempio, con il sistema bus di campo a linea ridondata, in caso di malfunzionamento, il passaggio delle informazioni non è interrotto, ma è commu-

tato sulla seconda linea; nelle architetture con chiusura ad anello se c'è un'interruzione su un componente del loop, si mantiene il flusso delle informazioni tra le due sezioni che si riconfigurano in 2 tronconi distinti.

L'idroelettrico è tra i settori in cui l'Italia ha una lunga tradizione e negli ultimi anni si è cercato di incoraggiarne lo sviluppo, anche grazie agli incentivi per la realizzazione di piccoli e medi impianti privati per la produzione di energia. Il campo delle rinnovabili è quindi un settore di interesse per AUMA Italiana che, oltre a partecipare a seminari volti a promuovere nuove tecnologie, collabora molto spesso anche con i più moderni poli di ricerca, proponendo soluzioni innovative e avvalendosi della più avanzata tecnologia disponibile sul mercato. È il caso dell'attuatore elettrico UnderWater (UW) che può lavorare in immersione permanente per gestire la movimentazione dei leverismi delle turbine, in modo che si possa variare la portata delle stesse.

Nel corso della sua storia AUMA, la cui produzione di attuatori elettrici è iniziata oltre 50 anni fa, ha sviluppato una serie di prodotti per differenti settori tra cui il settore dell'acqua, dell'Oil&Gas e dell'energia. Queste serie sono state implementate con tecnologie sempre più all'avanguardia e adattabili

ai nuovi protocolli di comunicazione richiesti dal mercato dell'automazione industriale. Il nostro reparto di R&D è impegnato da sempre a raccogliere le esigenze del mercato di nuove applicazioni e a sviluppare i modelli di attuatori utilizzabili in impianti industriali sempre più sofisticati e innovati. Nonostante la grande richiesta di innovazione da parte del mercato, vorrei sottolineare come AUMA continua ancora oggi a produrre una vasta gamma di prodotti meno complessi dal punto di vista elettronico, ma che rappresenta al meglio la solidità della produzione aziendale. Questi attuatori che possiamo definire di "prima generazione", sono installati ad esempio negli impianti nucleari in cui è necessario avere prodotti affidabili in termini di funzionamento, prestazioni e manutenzione. Oltre agli impianti nucleari, anche quelli geotermici o termoelettrici devono rispondere a requisiti stringenti sulla sismicità e sulla resistenza alle sollecitazioni e quindi necessitano di attuatori che garantiscano elevati livelli di sicurezza.

Proprio per queste particolari caratteristiche, la manutenzione di attuatori simili è affidata direttamente al cliente che ha a disposizione il progetto manutentivo e può agire autonomamente. Nel caso degli attuatori di "nuova generazione", dotati quindi di un'interfaccia di comunicazione, le informazioni sono trasmesse o via bus alla gestione centrale, o prelevate tramite bluetooth. Su queste serie di prodotti i tecnici AUMA possono effettuare una manutenzione predittiva, intervenire da remoto in caso di anomalie o intervenire localmente.

Se quindi negli anni AUMA è riuscita a creare un'offerta diversificata, c'è una caratteristica che non è mai mutata nel corso degli anni e che è comune a tutte le serie di attuatori: la coppia di azionamento, ossia la coppia necessaria per muovere gli organi di manovra di un impianto, le paratoie, o le valvole. Pur rinnovando ciclicamente il proprio catalogo prodotti, in fase di progettazione costruttiva, AUMA non modifica il range di coppia nei nuovi modelli, facilitando quindi l'interscambiabilità dei prodotti per l'utente finale.

Grazia alla sua lunga tradizione AUMA può sicuramente essere annoverata tra i costruttori leader del settore a livello internazionale e, in particolare nel settore idrico e dell'Oil&Gas, non è difficile trovare attuatori elettrici installati molti anni fa e perfettamente funzionanti. La robustezza dei nostri prodotti è il risultato della scelta di materiali resistenti e performanti, dell'attenzione ai dettagli del nostro team di ricerca e sviluppo e della precisione in fase di produzione. L'affidabilità degli attuatori elettrici, siano essi lineari, angolari o multigiuro, e le elevate



Attuatore AUMA UnderWater

Per rispondere alle esigenze di mercato, AUMA ha creato un attuatore specifico per gli impianti idroelettrici e per le applicazioni che richiedono l'utilizzo di attuatori in immersione. L'attuatore elettrico sommergibile UW può infatti lavorare completamente sott'acqua, ed è utilizzato in sostituzione degli attuatori idraulici. Questi ultimi infatti potrebbero rilasciare dell'olio nell'ambiente, inquinando così la purezza dell'acqua. In ambito europeo, in particolare nel Nord Europa, le applicazioni che utilizzano oli idraulici tendono a non essere considerate in fase di progettazione di nuovi impianti.

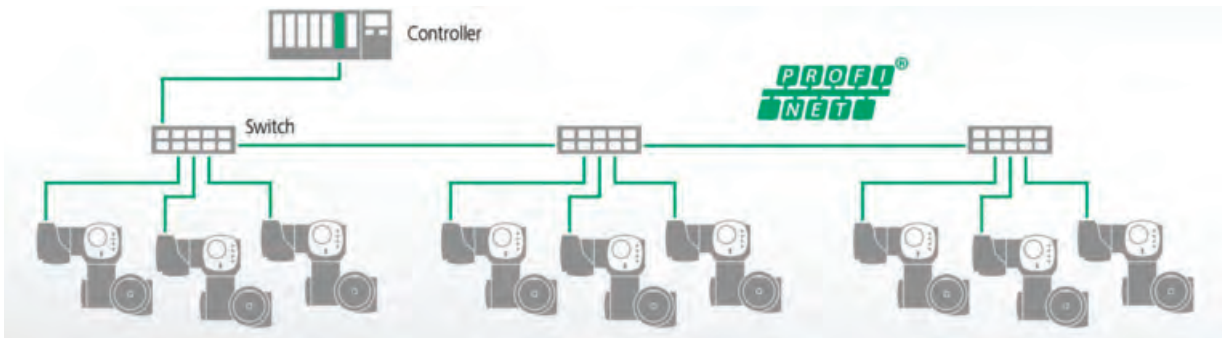


Figura 1
 Topologia tipica dell'Ethernet industriale con applicazione del protocollo di comunicazione PROFINET

prestazioni sono inoltre assicurate anche dal rispetto degli standard internazionali. Tutti gli attuatori AUMA rispettano i requisiti indicati nelle norme del settore, come ad esempio quelli indicati nella norma EN 15714-2 in termini di componenti, prestazioni e cicli di vita degli attuatori elettrici per valvole industriali e utilizzati per valvole di regolazione e on-off. Per quanto riguarda invece gli impianti nucleari, il livello di resistenza degli attuatori deve soddisfare requisiti di sicurezza e prestazioni più stringenti, come stabilisce ad esempio la normativa IEEE.

Produrre attuatori che garantiscano alte e continue prestazioni nel lungo periodo non è il solo obiettivo che l'azienda si pone, infatti per noi è importante offrire ai nostri partner anche un ottimo servizio di manutenzione e di assistenza post-vendita completo e personalizzato per ogni tipologia di prodotto. Oltre ai servizi di consulenza e assistenza tecnica in loco, AUMA ha sviluppato dei servizi digitali per consentire interventi sempre più tempestivi e tailor-made. Tra questi c'è l'AUMA Cloud, uno strumento che permette una più efficiente gestione dei prodotti installati e una più rapida manutenzione, anche preventiva, in caso di malfunzionamenti o anomalie. Si tratta quindi di una piattaforma per l'accesso ai dati e alle informazioni di tutti gli attuatori presenti in un impianto. Questi dati possono essere inseriti nell'AUMA Cloud anche tramite l'AUMA Assistant APP da cui è possibile configurare ed effettuare la diagnosi degli attuatori installati tramite smartphone o tablet. Inoltre, grazie alla scansione del QRcode presente sul dispositivo AUMA, l'utente ha accesso ad una serie di documenti relativi all'attuatore installato, come lo schema elettrico, il manuale di istruzione e il disegno dimensionale. La disponibilità di dati aggiornati è fondamentale e insieme alla rapidità di intervento rappresentano per AUMA due componenti fondamentali di successo. Ed è questo lo spirito con cui è stato presentato l'AUMA Service che, tramite un collegamento in videoconferenza con un tecnico AUMA, consente in tempo reale di condividere le

richieste del cliente e intraprendere le azioni necessarie per risolvere eventuali problemi. I nostri attuatori sono spesso installati in impianti strategici per l'apparato industriale nazionale e avere la possibilità di intervenire tempestivamente per ripristinarne la funzionalità è ciò che rende AUMA un'azienda affidabile e in grado di assicurare l'operatività dei prodotti anche a distanza di anni.

La tradizione, il rispetto di standard qualitativi molto alti e l'attenzione per il cliente rappresentano alcuni dei valori fondanti di AUMA. Negli ultimi anni, l'evoluzione del mercato dell'automazione ha reso necessario introdurre nuove funzioni e nuovi supporti, soprattutto digitali. La digitalizzazione in AUMA può essere riferita in particolare all'uso di protocolli di comunicazione aperti PROFINET, ETHERNET, Mod bus TCP-IP che rappresentano delle schede di interfaccia per trasferire informazioni dall'attuatore al sistema centrale di controllo. L'utilizzo di protocolli aperti consente di collegare più componenti, come sensori di pressione o di temperatura, e gestirli con un'unica rete. Consapevole dell'importanza del processo di digital transformation che sta interessando tutto il comparto industriale, e in particolar modo il settore dell'automazione, AUMA da circa tre anni fornisce attuatori che supportano un'interfaccia di comunicazione su base ETHERNET, offrendo ai clienti una gamma di prodotti "intelligente". Questi attuatori, grazie alla possibilità di essere interconnessi con gli altri dispositivi dell'impianto e di trasferire una mole significativa di dati, rendono l'impianto rispondente ai parametri dell'Industria 4.0. In questo modo il cliente può avere accesso agli incentivi messi a disposizione per questa tipologia di impianti altamente digitalizzati.

AUMA Italiana S.r.l. a socio unico
 Tel. 0331.51351
 E-mail: info@auma.it



INFORMAZIONI DALLE AZIENDE

IL RUOLO DELLE DISCARICHE CONTROLLATE ALL'INTERNO DEL CICLO DI GESTIONE DEI RIFIUTI

Un sistema integrato in cui ogni singola fase del ciclo è essenziale per il funzionamento dell'intera filiera, di questo si parla quando si affronta la tematica dei rifiuti. Stimolare il recupero di risorse è di fondamentale importanza per la costruzione di un futuro virtuoso, ma resta la consapevolezza di un processo complesso che produce anche materiali di scarto che non possono essere ulteriormente trattati con le tecnologie attualmente a disposizione.

Secondo i dati dell'ISPRA¹ la produzione di rifiuti urbani nel 2018 è stata di circa 30,2 milioni di tonnellate, con un incremento del 2% rispetto al 2017. Nonostante l'aumento della raccolta differenziata, in sole sette regioni è stato raggiunto l'obiettivo del 65% come da normativa, essendoci purtroppo enormi ritardi nella disponibilità di impianti destinati alla lavorazione delle differenti tipologie di rifiuti. Circa 500 mila tonnellate (l'1,7% del totale) sono state trasportate all'estero, a fronte di un notevole esborso finanziario.

Mentre il 22% (circa 6,5 milioni di tonnellate) è stato avviato a smaltimento definitivo in discarica, dato in flessione rispetto al 2017.

A questi quantitativi vanno aggiunti i numeri relativi alla produzione dei rifiuti speciali: circa 140 milioni di tonnellate/anno, di cui 10 milioni pericolosi. Di questi, oltre il 65% viene riciclato mentre una quota sensibile della restante parte, circa 15 tonnellate/anno, viene indirizzata verso impianti di termovalorizzazione o in discarica².

Complessivamente, pertanto, a oggi le discariche contribuiscono in modo non prescindibile alla chiusura del ciclo dei rifiuti.

L'obiettivo proposto dalla Commissione Europea è la riduzione dell'impiego di questi impianti per una frazione non superiore al 10% di tutti i rifiuti nel 2030.

Con il termine discarica, oggi, ci si riferisce a impianti di nuova generazione, ben lontani da quelli che abitano ancora l'immaginario collettivo.

In base alla tipologia di rifiuti cui sono destinate, le discariche sono classificate in siti per rifiuti inerti, per rifiuti non pericolosi e per rifiuti pericolosi. In realtà le nuove discariche sono siti progettati per accogliere, processare

e smaltire i rifiuti, minimizzando il rilascio nell'ambiente di derivati pericolosi.

La "discarica controllata" è, quindi, un'area adibita allo smaltimento dei rifiuti mediante operazioni di deposito sul suolo, costruita e gestita in modo da evitare, durante la fase di realizzazione, l'esercizio e dopo la chiusura dell'impianto, effetti negativi per l'ambiente, quali l'inquinamento delle acque superficiali, delle acque sotterranee, del suolo e dell'atmosfera, il degrado del paesaggio, l'emissione di odori e polveri, il richiamo di specie animali aliene invasive, il pericolo di incendi.

La costruzione e la connessa gestione di una "discarica controllata" viene autorizzata dalle Regioni in base a un progetto e ad appositi piani finanziari, di gestione operativa, di ripristino ambientale, di gestione post-operativa, di sorveglianza e controllo. La sua realizzazione prevede una struttura a barriera geologica, in modo da isolare i rifiuti dal suolo, e un sistema in grado di riutilizzare i biogas prodotti come combustibile per generare energia. Oltre al progetto, non meno importante è la gestione quotidiana della discarica.

Ogni sito è progettato per accogliere determinati rifiuti identificati da codici specifici³, e in un volume precedentemente stabilito, per un periodo limitato di tempo. I rifiuti conferiti e tutta l'area interessata, inoltre, devono rimanere sotto monitoraggio ambientale sino a 30 anni dopo la chiusura della discarica stessa; la cui area, nel frattempo, è utilizzabile per

¹ Rapporto rifiuti urbani 2019.

² Articolo La Stampa – FISE ASSOAMBIENTE.

³ Codice Europeo del Rifiuto di cui alla Decisione Commissione Ce 2000/532/Ce e s.m.i., così come riportata nella Parte IV del D.Lgs 152/2006.



Figura 1
Impianto di discarica ECOFER AMBIENTE – Roma – Lotto allestito e lotto in coltivazione



Figura 2
Impianto di discarica BLEU – Minervino Murge (BT) – panoramica.

altri scopi, in genere per la piantumazione di vegetazione autoctona non destinata a utilizzi alimentari. La realizzazione di una discarica ha come punto di partenza l'impermeabilizzazione del fondo e delle pareti con presidi naturali, in genere argilla compatta di bassa permeabilità e di spessore non inferiore a un metro. Si utilizzano anche materiali artificiali come le geomembrane in HDPE e geocomposti in bentonite sodica ad alta capacità impermeabilizzante. A protezione delle falde acquifere, inoltre, è previsto un sistema di monitoraggio con pozzi piezometrici posti lungo il perimetro della discarica.

La degradazione microbica della materia organica che avviene all'interno di una discarica in condizione anaerobica, produce il biogas, una miscela composta prevalentemente da metano e anidride carbonica. Una tonnellata di rifiuti può produrre fino a 250 metri cubi di biogas, sfruttabili quale fonte di energia rinnovabile. Il biogas è estratto mediante pozzi verticali collegati ad un sistema di aspirazione che lo avvia ad una centrale di cogenerazione provvista di motori in grado di azionare gruppi elettrogeni.

Il percolato, composto liquido, potenzialmente altamente inquinante, generato dai processi di fermentazione all'interno della discarica, è estratto mediante pompe a immersione collegate a una rete di tubi fessurati, immersi in uno strato di ghiaia drenante, appena al di sopra dello strato di im-

permeabilizzazione. Una volta raccolto, il percolato, viene depositato in appositi serbatoi di stoccaggio temporaneo e, successivamente, inviato presso impianti autorizzati al trattamento e/o smaltimento.

Potremmo dire, in sintesi, che il termine "controllata" che, comunemente, si affianca alle discariche attuali, racchiude in sé molteplici evidenze. Controllata è la realizzazione nel rispetto della normativa vigente (D.Lgs 36/2003); controllato è l'impatto ambientale (grazie alle caratteristiche tecniche dell'impianto e al piano di monitoraggio ambientale); controllati sono i rifiuti abbancati (prima dello stoccaggio definitivo, tutti i rifiuti sono trattati, selezionati e inertizzati, quando il caso); controllata è la gestione (tramite rigorose procedure operative codificate, nonché una puntuale rendicontazione delle performance alle istituzioni preposte). Controllato, infine, è anche il cosiddetto post operam, attraverso uno studio mirato di reinserimento del sito nel territorio.

Impianti di nuova generazione, dunque, che vengono progettati per essere del tutto compatibili con un territorio come quello italiano particolarmente antropizzato, fornendo un contributo determinante alla corretta chiusura del ciclo dei rifiuti, garantendo sostenibilità ambientale ed economica.

L'ESPERIENZA CIRCOLARE DEL CONOU – "GREEN DEAL PER L'ITALIA"

Ripartire dalle migliori case history e competenze per costruire un futuro più sostenibile, in grado di mettere le più innovative conoscenze tecnologiche, gestionali e umane al servizio di un modello di sviluppo avanzato e ambientalmente responsabile. Questo il tema centrale della manifestazione "Green Deal per l'Italia" promossa dalla Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, andata in onda il 25 giugno sul canale online Rai Play e che ha visto la partecipazione di CONOU, il Consorzio Nazionale per la Gestione, Raccolta e Trattamento degli Oli Minerali Usati, nell'ambito della sessione di dibattito dedicato alla gestione circolare dei rifiuti moderata dal giornalista RAI Marco Frittella.

Il Presidente di CONOU Paolo Tomasi intervenendo al dibattito ha esposto il caso d'eccellenza della Filiera consortile, dalla raccolta fino alla rigenerazione, che ha permesso all'Italia – sin dall'inizio della sua attività – di raggiungere obiettivi ambientali sfidanti e ineguagliati nel resto d'Europa. Una governance e un'organizzazione del lavoro di un Sistema che, specie nel difficile periodo di emergenza COVID-19, ha saputo dare prova di unità, resilienza collettiva e orientamento al risultato di preservazione ambientale e che si pone a modello di esempio per rendere l'economia circolare nazionale una realtà sempre più affermata. La sessione di lavoro ha visto confrontarsi i principali rappresentanti dei Consorzi italiani che hanno animato la discussione sulle modalità in cui queste realtà potranno rafforzare e guidare il grande progetto di crescita sostenibile a cui l'Italia è chiamata.

Gruppo Maio
www.gruppomaio.com

conou.it • 800863048



BIODRYER – IL FUTURO DEL TRATTAMENTO DEI FANGHI DI DEPURAZIONE CON STILE E DESIGN, DALL'ITALIA ALLA CALIFORNIA

Può un impianto di depurazione delle acque reflue trattare i fanghi di depurazione (prodotto di risulta solido della depurazione delle acque reflue urbane ed extraurbane) in modo completamente ecologico e guardando ad un design futuristico?

Ebbene sì, un gruppo di ragazzi Italiani ha lavorato per più di 7 anni alla creazione di un macchinario che fosse in grado di essiccare i fanghi di depurazione con un processo Biologico riducendo gli stessi del 90%. Un risultato fantastico se si pensa che ogni impianto di depurazione paga dai 100/200€ per tonnellata di fango smaltita in inceneritori, termovalorizzatori e se i limiti lo permettono anche in recupero agricolo.

Un impianto medio produce circa 5000 ton/anno di fango di depurazione con un costo di smaltimento medio annuale di circa un milione di euro. La scelta di Bioforcetech Corporation è proprio quella di chiudere il cerchio per un'economia circolare perfetta, sfruttando il più possibile il fango di depurazione e le sue proprietà. Infatti grazie al suo processo brevettato per la proliferazione batteriologica dei fanghi, il Biodryer, riesce a recuperare

calore utile per l'essiccamento dello stesso fango.

In questo modo si ha un recupero energetico notevole ed allo stesso tempo un abbattimento dei quantitativi dei fanghi prodotti.

In un impianto dunque di 5000 ton/anno al 20%ss con l'inserimento del Bioessiccatore Biodryer fuoriescono circa 1250 ton/anno di fango Bioessiccato al 80% di sostanza secca.

In questo modo lo stesso depuratore si trova a risparmiare circa 750mila euro all'anno per lo smaltimento del fango di depurazione.

Ma come si chiude il cerchio per l'economia circolare perfetta?

P-Five è il nome del macchinario che può essere aggiunto ulteriormente al processo di Biodrying. Questo macchinario è in grado di trasformare e diminuire il fango essiccato in un prodotto chiamato Biochar, un prodotto che in California viene venduto anche su Amazon come ammendante per il terreno. Grazie all'intraprendenza dei fondatori, che hanno stretto collaborazioni con diverse società e università per trovare ulteriori utilizzi di questo materiale con svariate proprietà, i primi test rivelano che il Biochar può essere utilizzato come materiale filtrante per bonificare acque inquinate e fumi nocivi. Può anche diventare un biomateriale per il design e l'architettura, filamento per le stampanti 3D e molto molto altro.



Figura 2
Mattone Biochar Bioforcetech Corporation

Ma può davvero un impianto che tratta fanghi essere anche esteticamente bello?

Il team di Bioforcetech ha miscelato con estrema cura tecnologia e design. Il Biodryer è composto da materiali di alta qualità e utilizzati anche in architettura futuristica.

Questo lo rende dunque un macchinario industriale unico nel suo genere per la sua bellezza.

A sfatare il mito di un impianto sporco che tratta fanghi di depurazione ci ha pensato dunque una società nata in Italia e sviluppata in California a San Francisco.

Il cerchio verso una economia circolare dei fanghi di depurazione è finalmente chiuso.

Bioforcetech

bioforcetech.com



Figura 2
Impianto BFT a Redwood City, CALIFORNIA USA

ECOGENERAZIONE: TECNOLOGIE ENERGETICHE E AMBIENTALI INTEGRATE

Dall'unione di due business, differenti per definizione ma inevitabilmente collegati fra loro, nasce una nuova realtà tutta italiana. Ecogenerazione coniuga due aspetti fondamentali: l'efficientamento energetico e il trattamento acque reflue nel settore industriale. Sempre più spesso le aziende valutano miglioramenti sulle performance energetiche e sulla qualità del processo produttivo che prediligano un recupero delle materie prime tra le quali l'acqua. In questi casi, ci si trova per lo più a dover dialogare con realtà con buone expertise in uno specifico campo ma che difficilmente punteranno a una soluzione integrata.

La divisione energetica di Ecogenerazione vanta oltre 15 anni di esperienza nella progettazione, installazione e gestione di impianti di cogenerazione, fotovoltaici, eolici e a biomassa. La parte trattamento acque viene sviluppata da personale interno con esperienza ventennale nel settore industriale e con la collaborazione di primarie aziende produttrici delle varie tecnologie. È proprio questo il plus più evidente di Ecogenerazione: la capacità di trovare il perfetto trait d'union tra le varie tecnologie facendole dialogare fra loro e soprattutto fornendo ai propri clienti un'unica soluzione garantita.

Dal 2019, anno in cui è stata fondata, sono già stati realizzati alcuni importanti progetti e altri vedranno la luce entro la fine del 2020.

Per un'importante zincatura lombarda, è stato realizzato un sistema di Cogenerazione capace di sviluppare 250 kW elettrici e 380 kW termici utili ad alimentare un Evaporatore Sottovuoto da 30 m³ giorno a triplo effetto. Il cogeneratore copre il totale fabbisogno elettrico del reparto zincatura e quasi il 100% di quello termico permettendo un risparmio di circa il 40% dei costi energetici. A livello ambientale, l'introduzione dell'Evapoconcentratore per trattare



Figura 1
Analisi energetica Ecogenerazione

le acque in uscita dall'impianto chimico-fisico, ha permesso di ottenere il traguardo dello scarico zero, riutilizzando il 100% delle acque reflue prodotte.

La stessa azienda, sta valutando un nuovo cogeneratore per coprire il fabbisogno di un altro reparto produttivo che dovrebbe portare entro fine 2021 un nuovo abbattimento dei costi energetici.

Entro la fine dell'anno verrà invece avviato un sistema trigenerativo da 900 kW_e totali per un'azienda italiana leader nelle produzioni dolciarie. In questo caso non è stato necessario integrare la parte ambientale ma è stato predisposto il sistema per un eventuale futura installazione per lo scarico zero in uno specifico reparto.

Questo come altri progetti vengono proposti con formula EPC "Energy Performance Contract" ovvero garantendo le performance dell'intero sistema, della sua efficienza e dell'energia prodotta.

La sfida raccolta e vinta da Ecogenerazione è stata quella di estendere le garanzie di performance anche sulla parte trattamento acque, argomento molto delicato e quasi mai affrontato dai competitor. Infine, grazie all'ottenimento della certificazione UNI 11352 dal 2014 da parte di una sua collegata, è in grado di proporre impianti in formula ESCo finanziando il 100% dell'investimento.

Ecogenerazione
ecogenerazione.it



Figura 2
Evaporatore triplo stadio Zincatura

RACCOLTA DIFFERENZIATA E RICICLO DEGLI IMBALLAGGI DI ALLUMINIO

Con 51.400 tonnellate di imballaggi in alluminio riciclate nel 2019, pari all'70% delle complessive 73.400 tonnellate immesse sul mercato – cui vanno aggiunte 4.500 tonnellate di imballaggio sottile destinato alla termovalorizzazione – l'Italia si conferma anche per il 2019 tra le eccellenze a livello europeo per quantità di alluminio riciclato prodotto.

Questi i numeri principali presentati all'assemblea annuale delle 246 imprese consorziate a CIAL – Consorzio Nazionale per il Recupero e il Riciclo degli Imballaggi in Alluminio tenutasi a Milano lo scorso 26 giugno.

Il risultato, vitale per un Paese la cui produzione di alluminio si basa al 100% sul riciclo, ha consentito di evitare emissioni serra pari a 381 mila tonnellate di CO₂ e risparmiare energia per oltre 164 mila tonnellate equivalenti di petrolio, ed è stato reso possibile grazie all'azione combinata di istituzioni, imprese, operatori, cittadini e comuni.

In particolare, sono oggi oltre 5.406 (+232 rispetto al 2018) i Comuni e circa 46 milioni i cittadini attivi nella raccolta differenziata dell'alluminio con cui CIAL collabora, nell'ambito dell'Accordo Quadro Anci-Conai, su tutto il territorio nazionale.

Numeri che hanno consentito una crescita del 22,6% della raccolta differenziata gestita dal Consorzio nell'ultimo anno. Dato questo in linea con gli incrementi degli ultimi anni (lo scorso anno era cresciuta del 19%) a dimostrazione di una maggiore efficienza dei servizi di gestione e degli impianti di selezione e trattamento. “Il conseguimento di una quota di riciclo del 70% nel 2019, in linea con i trend degli ultimi anni e superiore agli obiettivi di raccolta e avvio a riciclo fissati nelle nuove direttive europee sull'economia circolare, conferma come il sistema nazionale di gestione degli imballaggi in alluminio abbia raggiunto un livello di maturità e di efficienza tali da garantire, in futuro, incrementi qualitativi e

quantitativi addizionali, specie nei territori con ulteriori margini di crescita” ha commentato il Presidente di CIAL Bruno Rea nel corso dell'Assemblea. “La consapevolezza che il processo di sviluppo è ormai irreversibile è data dal fatto che, seppur a macchia di leopardo, le principali regioni del Sud Italia registrano performance crescenti e, a breve, saranno in grado di ridurre il gap con le aree più mature”.

“L'impegno di CIAL in questo senso – prosegue Rea – prevede ormai da anni un supporto personalizzato che non si limita alla semplice erogazione di corrispettivi economici e sistemi premianti e incentivanti a fronte del materiale raccolto e conferito ma, anche, a garantire l'individuazione e l'adozione di nuove tecnologie per la selezione e per massimizzare il recupero e la qualità dell'alluminio, sono alcune delle modalità con cui da anni CIAL opera per valorizzare l'impegno dei cittadini, dei Comuni e degli operatori”.

“Un ulteriore elemento di soddisfazione – conclude Rea – riguarda l'im-

pegno delle imprese della nostra filiera che, grazie ai continui miglioramenti introdotti dall'innovazione tecnologica – ottimizzazione e riduzione di peso e spessori, completa riciclabilità e un crescente impiego di materiale riciclato – rendono il packaging in alluminio, sempre più affine e coerente con i principi della Prevenzione e quindi con le politiche e i modelli di sviluppo socio-economico della Green Economy.”

Infine, tra gli atti dell'assemblea, una modifica dello Statuto, che prende atto delle nuove esigenze e del mutato scenario degli ultimi mesi, per prevedere e favorire l'organizzazione dei lavori dell'organo amministrativo anche in remoto con totale modalità streaming.



www.cial.it

Per info: Stefano Stellini
Relazioni Esterne CIAL
Email: s.stellini@cial.it

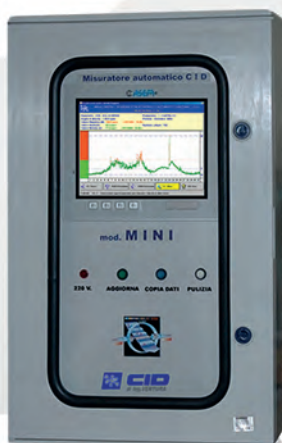


Sondiamo la sicurezza e la qualità dell'acqua

SONDA TENSIOATTIVI



SONDA COD OUT



Rilevazione automatica in continuo dei parametri:

- TENSIOATTIVI
- SOLIDI SOSPESI
- BOD
- COD
- TORBIDITÀ

dal 1979

 **CID**
Ing. VENTURA srl

CID ING VENTURA Srl

Via Denari 22 - 25127 BRESCIA Tel. 030 3730699 www.venturacid.it info@venturacid.it

Patrocini richiesti:



REMTECH EXPO

International event on Remediation, Coasts, Floods, Climate, Seismic risk, Regeneration, Industry

21-25 SEPTEMBER 2020

digital edition



ULTRASUONI CLAMP-ON KATRONIC KATflow 200

Acqua, fluidi alimentari, solventi, acidi, olii, petrolio, gas e altri ancora

- Assenza di taglio e saldatura delle tubazioni
- Assenza di perdite e contaminazione
- Installazione veloce e semplicità di utilizzo

MISURATORE DI PORTATA Misura non invasiva sul tuo processo



POSIZIONATORE SRD998 Controllo intelligente della tua valvola



POSIZIONATORE FOXBORO ECKARDT SRD998

Alte prestazioni di controllo, con o senza booster, per un'efficienza ottimale del processo

- Compatibilità completa con tutte le valvole
- HART 7 e FDT-DTM
- Vasta gamma di kit montaggio e accessori

INDICATORE / TOTALIZZATORE FLUIDWELL F012

Ideati per lavorare in campo in aree pericolose e condizioni meteorologiche avverse

- Facilità di configurazione
- Display LED retroilluminato
- Alimentazione con batteria interna (5 anni)

INDICATORE TOTALIZZATORE Vista simultanea di portata istantanea e totale



SUM2020

5° SIMPOSIO SULL' URBAN MINING E LA CIRCULAR ECONOMY / **NEW! VIRTUAL EVENT** / 18-20 NOVEMBRE 2020

NEW! EVENTO ONLINE

Il SUM2020 si svolgerà dal **18 al 20 Novembre** in concomitanza con il Venice 2020 - 8° Simposio Internazionale sull'Energia da Biomasse e Rifiuti, **interamente online!** Questo ci consentirà di raggiungere in sicurezza ogni angolo del mondo. Tutti i contenuti saranno accessibili in diretta e on demand

VANTAGGI DEL VIRTUALE

Contenuti accessibili dove e quando vuoi (anche dopo la fine del Simposio) / Nessun costo di viaggio e alloggio / Più interazione tra partecipanti durante workshop, tavole rotonde e Q&A chat / Più opportunità di networking / Sessioni speciali Meet the expert e Keynote speakers di altissimo livello / Ottimizzazione dei tempi!



TEMI

NEW: Gestione dei rifiuti nelle situazioni di emergenza / Educazione, partecipazione pubblica aspetti sociali / Trattamenti di valorizzazione di materiali e risorse / Tecnologie per il recupero di materiali / Aspetti economici finanziari / Aspetti critici emergenti...
Lista completa: www.urbanmining.it

INVIO LAVORI

Il Simposio digitale ci consente di riaprire il **call for paper!** Inviaci la tua proposta per una presentazione virtuale (orale o poster) utilizzando il form online disponibile al link: **www.urbanmining.it/it/call-for-paper** E' possibile inviare anche solo un breve contributo di 3-4 pagine (short paper) o proporre nuovi workshop

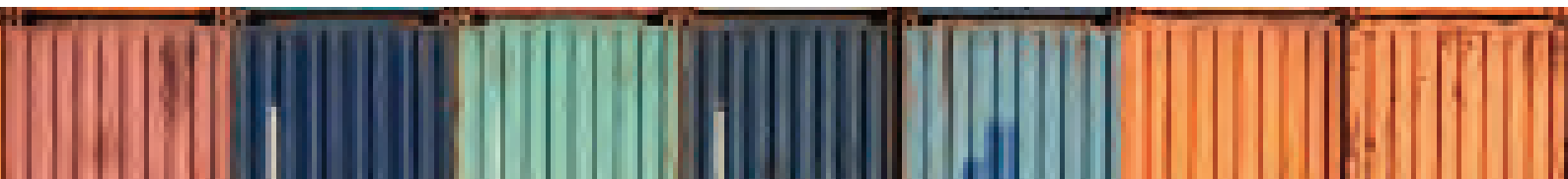
REGISTRAZIONE

Dal momento che il Simposio si svolgerà online, **la quota di partecipazione è stata ridotta** e comprenderà: Accesso a tutti i contenuti e alle presentazioni in diretta e on demand / Atti SUM20 / Materiale congressuale / Visite tecniche virtuali
Quote scontate per iscrizione anticipata e registrazione ai 2 Simposi!



organizzato da: IWWG - International Waste Working Group • Università di Padova (IT) • Università di Bologna (IT) / **segreteria organizzativa e informazioni:** EUROWASTE SRL / Via Beato Pellegrino 23 / 35137 Padova / tel: +39 049 8726986 / info@urbanmining.it / **website:** WWW.URBANMINING.IT

INVIA IL TUO LAVORO ENTRO IL 31 LUGLIO 2020!





Il nuovo significato di efficienza energetica.

Migliorare l'utilizzo dell'energia è la sfida più importante che l'uomo dovrà affrontare nei prossimi anni. Il miglior modo per ridurre i consumi energetici è la loro ottimizzazione.

In Ecogenerazione integriamo al meglio sistemi di produzione energetica combinata come COGENERAZIONE o TRIGENERAZIONE, con tecnologie di TRATTAMENTO E RECUPERO ACQUE INDUSTRIALI.

Risparmiare migliorando le performance. Oggi si può.

www.ecogenerazione.it

ECO
GENERAZIONE
Tecnologie Energetiche e Ambientali



Seguitemi anche su:



RIVISTA TECNICO-SCIENTIFICA PER IL SETTORE DELL'INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE

Ingegneria dell'Ambiente (IDA) è una rivista scientifica ad accesso aperto (open access) nata nel 2014 da un'iniziativa della Sezione Ambientale del *Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale del Politecnico di Milano*. La rivista è **gratuita** per autori e lettori (open access) ed è dotata di un sistema di revisione paritaria (peer-review).

Ingegneria dell'Ambiente pubblica articoli riguardanti la ricerca tecnico-scientifica nei campi di interesse dell'Ingegneria Sanitaria-Ambientale e si propone come strumento in lingua italiana per raggiungere e dialogare con tecnici ambientali, liberi professionisti, funzionari della pubblica amministrazione, formatori ed Enti di controllo.

La rivista ospita contributi in lingua italiana; ma sono richiesti anche un titolo e un abstract in inglese.

I temi di interesse della rivista sono: *Tecnologie per acque di approvvigionamento e di rifiuto; Riutilizzo e recupero di energia e materia; Inquinamento dell'aria e depurazione delle emissioni in atmosfera; Inquinamento delle acque; Bonifiche dei suoli contaminati; Trattamento e gestione dei rifiuti; Valutazione di impatto ambientale; Cambiamenti climatici; Analisi del ciclo di vita; Energia e ambiente; Sistemi di gestione ambientale; Caratterizzazione, monitoraggio e modellistica dei fenomeni di inquinamento ambientale.*

Ingegneria dell'Ambiente pubblica Articoli di ricerca, che illustrano risultati di ricerche tecnico-scientifiche; Articoli di review, che illustrano lo stato dell'arte; Comunicazioni tecnico-scientifiche, che illustrano risultati di progetti dimostrativi o soluzioni applicative innovative; Brevi resoconti di convegni o mostre; Recensioni di volumi, italiani e stranieri, di interesse per i campi dell'Ingegneria Sanitaria Ambientale; Editoriali o testi generali di inquadramento di temi di particolare rilevanza dell'Ingegneria Sanitaria Ambientale, scritti con un linguaggio divulgativo (su invito della Direzione Scientifica o del Comitato Scientifico).

Per l'invio di proposte utilizzare la piattaforma all'indirizzo: www.ingegneriadellambiente.net

Ingegneria dell'Ambiente ha il patrocinio di
GITISA (Gruppo Italiano di Ingegneria Sanitaria, www.gitisa.it);
AIAT (Assoc. Ingegneri per l'Ambiente e il Territorio, www.ingegneriambientali.it).

La pubblicazione su **Ingegneria dell'Ambiente** è riconosciuta ai fini dell'ottenimento di **5 crediti** per la formazione informale prevista degli Ordini Professionali.



Progettiamo
un mondo migliore.

Dai nuovi modelli di sviluppo dell'economia circolare alle soluzioni tecnologiche per la gestione e la protezione delle risorse: una piattaforma internazionale per favorire la crescita di un ecosistema imprenditoriale innovativo e aiutare i territori a creare un futuro più sostenibile.

ECOMONDO
THE GREEN TECHNOLOGY EXPO

3 - 6
NOV.
2020

QUARTIERE
FIERISTICO
DI RIMINI

Organizzato da

**ITALIAN
EXHIBITION
GROUP**
Providing the future



In collaborazione con



ITCA
ITALIAN TRADE AGENCY

In contemporanea con

KEY ENERGY
THE RENEWABLE ENERGY EXPO



ecomondo.com

INDEX



VOL. 7
NUM. 2
2020

EDITORIAL

Taking the water out of “wastewater”: an ineluctable oxymoron for urban water cycle sustainability – *Andrea G. Capodaglio*

Engineered CO₂ Removal, Climate Restoration, and Humility – *S. Julio Friedmann*

ARTICLES

Milan without diesel: how would the air quality improve? – *Camillo Silibello, Alessandro Nanni, Nicola Pepe, Giuseppe Calori, Giuseppe Brusasca*

Development of an innovative tool for monitoring the aeration system performance and the greenhouse gas emissions in WRRFs – *Cecilia Caretti, Iacopo Ducci, Roberta Muoio, Francesco Spennati, Simone Neri, Riccardo Gori*

TECHNICAL-SCIENTIFIC COMMUNICATIONS

The transformation of the energy sector in Italy – *Claudia Cafaro, Paolo Ceci, Antonio Fardelli, Elisa Zazzu*

Quality regulation in the waste sector: ARERA intervention – *Giorgio Ghiringhelli, Carlo Sguario, Paolo Pagani, Giuseppe Sbarbaro, Elisa Amodeo*

The Guidelines on vapour monitoring at contaminated Sites of the National System for Environmental Protection. Application after one year from publication – *Antonella Vecchio, Madela Torretta, Lucina Luchetti, Maurizio Di Tonno, Marco Fontana*

Foto in copertina
di Cecilia Caretti.

ISSN e e-ISSN 2420-8256

Ingegneria dell'Ambiente per il 2020 è sostenuta da:



better together



STADLER[®]
STADLER ITALIA S.r.l.



VEOLIA
Veolia Water Technologies Italia S.p.A.

