



# INGEGNERIA DELL'AMBIENTE



**N. 2/2022**



## 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](http://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. 9  
NUM. 2  
2022**

Ingegneria  
dell'Ambiente  
per il 2022  
è sostenuta da:



**auma**<sup>®</sup>  
Solutions for a world in motion



### Editoriale

- 81** La pianificazione dei rifiuti verso l'economia circolare.  
*Mario Grosso*

### Articoli

- 84** Ozonolisi in digestione anaerobica: un caso di studio a scala reale e di laboratorio  
*Michela Peroni, Matteo Cascio, Davide Soderino, Davide Preda, Eleonora Pasinetti, Arianna Catenacci, Francesca Malpei, Marco Bernardi*
- 100** Editoria scolastica e impatti ambientali: analisi del caso Zanichelli tramite la metodologia LCA.  
*Camilla Tua, Giulia Cavenago, Mario Grosso, Lucia Rigamonti*

### Comunicazioni tecnico-scientifiche

- 117** 35 anni di ricognizione degli scarichi fognari in Trentino.  
*Giuliano Rizzi*
- 125** Il dimensionamento del sistema di raccolta porta a porta per il conseguimento degli obiettivi dell'economia circolare nella gestione dei rifiuti.  
*Silvio Ascoli, Chiara Pagano, Raffaella Pomi, Alessandra Polettini, Anna Proietti*
- 136** Il nuovo programma di gestione dei rifiuti della regione Lombardia: gli obiettivi di riciclo dei rifiuti urbani.  
*Michele Giavini, Giorgio Ghiringbelli, Elisa Amodeo, Silvia Colombo*

### Pubbliredazionali

- 144** smartCID Vf: per rilevare in automatico in campo la quantità e velocità di sedimentazione del fango.
- 148** Raccolta e riciclo di carta e cartone, nel 2021 Italia da record: ogni italiano ha differenziato oltre 60 kg.

### Rubriche

- 152** Informazioni dalle aziende
- 156** Libri



IdA



**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 Foladori (*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*)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

**Grafica e impaginazione**

Gianluca Soddu

**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 BYNC-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](mailto: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](mailto: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](mailto:info@ingegneriadellambiente.net)

Pubblicato on-line il 26 Luglio 2022.

Finito di stampare in **agosto 2022**, presso Colorshade di Cabrini Matteo M., Via Cristoforo Colombo, 7, 20068 – Peschiera Borromeo (MI)

# LA PIANIFICAZIONE DEI RIFIUTI VERSO L'ECONOMIA CIRCOLARE

**Mario Grosso**

AWARE – Assessment on WASTE and RESOURCES

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Politecnico di Milano

Centro MatER – Materia ed Energia dai Rifiuti. Piacenza

“Piano verso l'economia circolare”. Anche se a una lettura superficiale potrebbe sembrare il contrario, la Regione Lombardia intende, con l'ultimo aggiornamento del Programma Regionale di Gestione dei Rifiuti (PRGR), muoversi molto velocemente verso l'economia circolare. Il Piano è stato approvato nel mese di maggio del 2022, dopo due anni di intensa attività del gruppo di lavoro tecnico individuato, in stretta collaborazione con gli uffici regionali e all'interno di un ampio processo partecipativo che ha coinvolto la totalità dei portatori di interesse. Oltre naturalmente alla procedura di Valutazione Ambientale Strategica (VAS). Maggiori dettagli sul programma sono riportati nella comunicazione tecnica disponibile in questo numero di IDA a firma di Ghiringhelli e colleghi.

I lavori preparatori del PRGR hanno attraversato importanti momenti storici nella programmazione della gestione dei rifiuti nel nostro Paese, ed in particolare la gestazione del nuovo Programma Nazionale e l'attività di ARERA in merito alla regolazione degli aspetti tariffari.

Lavorare sulla pianificazione dei rifiuti in un contesto molto avanzato come quello della Regione Lombardia pone delle sfide importanti, poiché è ben noto quanto sia difficile implementare miglioramenti incrementali rispetto a situazioni più arretrate, che sono invece potenzialmente caratterizzate invece da ampi margini di azione. Inoltre il modello lombardo è probabilmente quello, tra tutte le regioni italiane, che meglio ha messo in atto per i rifiuti urbani la virtuosa integrazione tra riciclo, trattamenti biologici e recupero di energia, cosa che consente di trarre l'azzerramento del ricorso alla discarica, quantomeno come primo destino. Tuttavia la situazione che si è venuta a creare, con la coesistenza di importanti livelli di raccolta differenziata e riciclo, e un muscoloso apparato di impianti di recupero energetico, porta inevitabilmente ad alcune riflessioni su un sistema che, oltre ad essere funzionale alle esigenze regionali, di fatto lo è anche per parte di quelle nazionali. Da un lato aiutando a sopperire alla cronica carenza impiantistica di alcune altre Regioni, dall'altro generando un importante giro di affari proprio a causa di tale condizione. Ca-

renza che, si badi bene, non riguarda solo il trattamento dell'indifferenziato, bensì anche quello della frazione organica e dei rifiuti da imballaggio. Ciò che è un *vulnus* delle regioni più arretrate diventa importante e strutturale attività di business per la Regione Lombardia (ma anche per il Veneto, l'Emilia Romagna), in un equilibrio ben difficile da scardinare ma che presenta aspetti critici e non può essere sostenibile nel lungo periodo, a meno che si voglia accettare il “turismo dei rifiuti” come elemento strutturale e le periodiche situazioni di emergenza che si vengono a creare qua e là.

Su questa specifica partita il PRGR lombardo, che ricordiamo trarre un orizzonte temporale piuttosto prossimo, il 2027, non ha ritenuto di toccare equilibri ben consolidati, limitandosi a ridimensionare ulteriormente il ruolo degli impianti di Trattamento Meccanico-Biologico (TMB), di fatto relegati a contesti locali specifici e ritenuti privi di rilevanza strategica. Sarà dunque il prossimo aggiornamento del Programma a dover aggredire questo aspetto, molto probabilmente andando ad affrontare in maniera più incisiva la sovracapacità di trattamento termico che mal si sposa con l'esigenza sempre più pressante di prevenire la produzione dei rifiuti. Prevenzione sulla quale la Regione Lombardia si colloca a livelli di eccellenza per quanto riguarda i rifiuti urbani, anche grazie ai numerosi sforzi condotti in passato, mentre rimane un nervo scoperto relativamente ai rifiuti speciali, che faticano enormemente ad invertire la rotta.

Anche a livello nazionale, mentre i rifiuti urbani hanno di fatto rispettato gli obiettivi fissati dal Programma Nazionale di Prevenzione dei Rifiuti (fatta eccezione per *l'annus horribilis* 2020 a causa dell'importante contrazione del PIL, a cui deve essere parametrato l'obiettivo di riduzione), facendo registrare un -8% al 2019, la produzione di rifiuti speciali risulta totalmente fuori controllo, con un incremento del 20% rispetto al 2010, a fronte di obiettivi di riduzione del 5% per i non pericolosi e del 10% per i pericolosi. È proprio sul fronte dei rifiuti speciali che la discarica, pressoché sparita dal contesto di gestione degli urbani in Lombardia, fa nuovamente capolino, con la necessità di fabbisogni volumetrici tutt'altro che tra-

scurabili, tali da far venire qualche mal di pancia soprattutto ai decisori politici particolarmente esposti su questo fronte. Sebbene la percentuale di rifiuti speciali conferiti in discarica in Lombardia sia minima (meno del 10%), i quantitativi totali prodotti rimangono appunto molto elevati, ben oltre le 30 milioni di tonnellate all'anno (un valore pressoché coincidente con la totalità dei rifiuti urbani prodotti sul territorio nazionale), dunque i conti sono presto fatti. E diversamente da tutte le altre modalità di trattamento e smaltimento dei rifiuti, la discarica deve essere analizzata in termini di fabbisogno cumulato, che per definizione non può fare altro che aumentare. Ecco che da qua al 2027 si stima un fabbisogno aggiuntivo di almeno 4 milioni di metri cubi di volumetria di discarica, in una Regione dove i livelli di saturazione del consumo di suolo sono sotto gli occhi di tutti, così come la disponibilità di spazi in cui insediare eventuali nuovi impianti.

Che fare dunque dopo il 2027? È già tempo di iniziare a riflettere, per comprendere se esistono ancora margini per miglioramenti incrementali o se possiamo aspettarci nuove soluzioni *game changer* che consentano di dare una svolta fortemente migliorativa al sistema. Tra i primi si possono elencare (Grosso, 2021) il completamento del passaggio a schemi di raccolta porta a porta, che hanno mostrato di offrire una serie di vantaggi in termini di controllo della qualità del rifiuto, di minore occupazione dello spazio pubblico, di maggiore coinvolgimento dei cittadini anche in termini di prevenzione; una maggiore attenzione alla definizione delle raccolte multimateriale, che se mal implementate generano importanti flussi di residui che non vengono riciclati. Un altro aspetto che merita attenzione in termini di ottimizzazione è quello della scelta più opportuna del corretto contenitore per la raccolta dei diversi flussi, tale da permettere la migliore interazione con gli impianti di selezione e riciclo, sempre nell'ottica di ridurre la generazione di residui. Anche il fronte della tipologia di mezzi di raccolta può beneficiare di elementi di miglioramento incrementale, il principale dei quali risulta essere già oggi il ricorso a veicoli ad alimentazione totalmente elettrica oppure con propulsione a biometano, così come generato dagli impianti di digestione anaerobica della frazione organica.

Invece a parere dello scrivente soluzioni *game changer* possono provenire da una svolta nella modalità di progettazione e realizzazione dei prodotti destinati a diventare rifiuti (l'eco-design), e ben più difficilmente da miracolose soluzioni tecnologiche per trattare i rifiuti così come vengono generati oggi. Grandi aspettative vengono riposte verso i processi rientranti all'interno della definizione di "riciclo chimico delle plastiche", sebbene, quantomeno in Italia,

non se ne intravedano ancora realizzazioni alla scala industriale. Viceversa, iniziative di riciclo meccanico di alta qualità su flussi individuali di polimeri, in particolare il riciclo *bottle to bottle* del PET raccolto separatamente, paiono da un lato molto promettenti per creare circolarità, salvo che rischiano di lasciare "con il cerino in mano" chi si deve occupare del riciclo di tutti i restanti flussi di plastica, di minore qualità e spesso molto eterogenei.

In ogni caso non va mai perso di vista lo strumento che ci può e ci deve guidare attraverso questo mare in tempesta. Questo strumento si chiama Life Cycle Thinking, ed è declinato operativamente attraverso l'analisi del ciclo di vita (LCA). Analisi che è stata la grande assente nell'aggiornamento del Programma Regionale lombardo, contrariamente a quanto avvenuto in occasione del precedente Piano del 2012 (il Progetto GERLA: GEStione dei Rifiuti in Lombardia – Analisi del ciclo di vita – Rigamonti et al., 2013), ma che è invece ampiamente richiamata nel nuovo Programma Nazionale come strumento di supporto alle decisioni.

Parlando di pianificazione, non si può non chiudere con un breve accenno alle recenti cronache, e conseguenti code polemiche, relative al tentativo di una Regione italiana in grave sofferenza di realizzare un grande impianto di recupero energetico sul proprio territorio. Peraltro una Regione dove la pianificazione vigente prevede la maldestra soluzione di risolvere la gestione dell'indifferenziato sempre tramite i famigerati TMB, per l'occasione ribattezzati in roboanti "fabbriche dei materiali". Di un impianto di recupero energetico per trattare il rifiuto residuo si sente certamente la mancanza, ma per la modalità con cui è stato proposto rischia di risolversi nell'ennesimo nulla di fatto, in un Paese dove l'opposizione a qualsiasi opera di interesse pubblico, e a maggior ragione a quelle che cercano di aiutarlo ad uscire dalle sacche paludose in cui si è infilato, pare diventato lo sport nazionale. ■

## Riferimenti bibliografici

- Giavini M., Ghiringhelli G., Amodeo E., Colombo S. Il nuovo programma di gestione dei rifiuti della Regione Lombardia: gli obiettivi di riciclo dei rifiuti urbani. (2022). *Ingegneria dell'Ambiente* Vol. 9, n. 2-2022. Pagg. 136-143.
- Grosso M. (2021). How to improve an advanced waste management system. *Waste Management and Research* 39(6), pp. 765-766
- Rigamonti L., Falbo A. and Grosso M. (2013). Improving integrated waste management at the regional level: The case of Lombardia. *Waste Management & Research* 31(9), 946-953



# INGEGNERIA DELL'AMBIENTE



Seguiteci 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](http://www.ingegneriadellambiente.net)

**Ingegneria dell'Ambiente** ha il patrocinio di  
**IGITISA** Gruppo Italiano di Ingegneria Sanitaria,  
[www.gitisa.it](http://www.gitisa.it)

**AIAT** Ass. Ingegneri per l'Ambiente e il Territorio,  
[www.ingegneriambientali.it](http://www.ingegneriambientali.it)

La pubblicazione su **Ingegneria dell'Ambiente**  
è riconosciuta ai fini dell'ottenimento

di **2,5 crediti** per la formazione  
informale prevista degli Ordini Professionali.

# OZONOLISI IN DIGESTIONE ANAEROBICA: UN CASO DI STUDIO A SCALA REALE E DI LABORATORIO

Michela Peroni<sup>1</sup>, Matteo Cascio<sup>1</sup>, Davide Soderino<sup>1</sup>, Davide Preda<sup>1</sup>,  
Eleonora Pasinetti<sup>1\*</sup>, Arianna Catenacci<sup>2</sup>, Francesca Malpei<sup>2</sup>, Marco Bernardi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>SIAD S.p.A. – Laboratorio di Biologia e Chimica Ambientale

<sup>2</sup>Politecnico di Milano, Dipartimento DICA

<sup>3</sup>Gruppo CAP – Dipartimento Ricerca e Sviluppo

## Sommario

Nell'ambito del progetto PerFORM WATER 2030, finanziato da Regione Lombardia, è stato eseguito uno studio a scala reale e di laboratorio per l'applicazione del processo di ozonolisi quale pretrattamento del fango inviato alla digestione anaerobica al fine di ottimizzare la produzione del biogas. Il processo di ozonolisi, mediante solubilizzazione delle componenti particolate del fango, consente infatti di incrementare la frazione biodisponibile del fango, con conseguente aumento delle efficienze di degradazione e quindi della produzione di biogas, e contestuale riduzione del quantitativo di fango da smaltire. Lo studio, condotto presso un depuratore del Nord Italia avente potenzialità pari a 30.000 AE, ha consentito di evidenziare, a scala reale, un incremento della produzione del biogas del 20% per dosaggi dell'ordine di 10 gO<sub>3</sub>/kgSV e, a scala laboratorio, un aumento dal 38% al 74% per dosaggi da 20 a 140 gO<sub>3</sub>/kgSV. Il trattamento di ozonolisi a scala reale ha determinato inoltre un miglioramento della qualità del biogas prodotto, risultando ridotto di circa il 50% il contenuto di H<sub>2</sub>S originariamente presente (2.800

ppm). A scala laboratorio è stata osservata una riduzione della concentrazione dei solidi sospesi totali dell'ordine del 7-13% in funzione del dosaggio testato. Sono stati eseguiti test a scala laboratorio anche sul fango digerito in uscita dal digestore anaerobico. Tali prove hanno evidenziato un incremento della produzione residua di biogas pari a 30 NmLCH<sub>4</sub>/gSV nell'intervallo 100% – 500% all'aumentare del dosaggio di ozono da 130 a 300 gO<sub>3</sub>/kgSV. Tutti i risultati ottenuti durante la sperimentazione danno indicazione di come il processo di ozonolisi non determini effetti inibenti rispetto al processo di digestione anaerobica per i dosaggi testati. Una prima valutazione economica del processo offre un riscontro della sostenibilità dello stesso se concepito quale pretrattamento del fango alimentato alla digestione e combinato con sistemi efficienti di recupero termico/elettrico del biogas prodotto o di *up-grading* a biometano e in un contesto di costi di smaltimento dei fanghi superiori a 150 €/t.

**Parole chiave:** *trattamento fanghi, biogas, ozono, recupero di materia ed energia, sostenibilità.*

## OZONOLYSIS IN ANAEROBIC DIGESTION: A CASE STUDY AT FULL AND LAB-SCALE

### Abstract

As part of the PerFORM WATER 2030 project, funded by the Lombardy Region, a full-scale and laboratory-scale study was carried out for the application of ozonolysis process as pre-treatment of the sludge fed to anaerobic digestion to improve the biogas production. The ozonolysis process makes the treated sludge more bioavailable for anaerobic processes, increasing degradation efficiencies and the

consequent biogas production. The study, conducted at a 30.000 PE WWTP in northern Italy, allowed to highlight an increase in biogas production at full scale of 20% for dosages of about 10 gO<sub>3</sub>/kgVS and at a laboratory scale from 38% to 74% for dosages of 20 – 140 gO<sub>3</sub>/kgVS. The full-scale ozonolysis treatment resulted in an improvement of the biogas quality with the abatement of about 50% of the H<sub>2</sub>S content, originally equal to 2.800 ppm. The action of ozonolysis is expressed in the solubilisation of the sludge with a reduction of the total suspended solids concentration of the order of 7-13%, depending on the dosage tested.

\* Per contatti: Via Pasubio, 5 – 24044 Dalmine (BG)  
Tel.035 6224342; fax 035 6224340  
eleonora\_pasinetti@siad.eu

Ricevuto il 28-3-2022; Correzioni richieste il 23-5-2022;  
Accettazione finale il 21-6-2022.



During the laboratory-scale tests, the digestate treatment was also tested to evaluate the effectiveness of ozonolysis in increasing the residual methane capacity of the digested sludge. The tests gave positive results, highlighting the possibility of increasing the residual biogas production, equal to  $30 \text{ NmLCH}_4/\text{gSV}$ , from 100% to 500% for dosages from 130 to  $300 \text{ gO}_3/\text{kgSV}$ .

All results obtained during the experimentation give the indication that the ozonolysis process does not express inhibitory effects with respect to the anaerobic digestion

process for the dosages tested. A preliminary economic-environmental assessment of the process confirms its sustainability if combined with efficient thermal/electrical recovery systems of the biogas produced or biomethane upgrading and in a context with sludge disposal costs greater than  $150 \text{ €/t}$ .

**Keywords:** *sludge treatment, biogas, ozone, recover of energy and material, sustainability.*

## 1. Introduzione

Nell'ambito degli impianti di trattamento delle acque reflue, la digestione anaerobica è una tecnologia già ampiamente utilizzata, rappresentando l'unica unità di trattamento a bilancio energetico positivo, e svolgendo quindi un ruolo chiave in un'ottica di sostenibilità economico-ambientale dei processi depurativi. È opportuno, tuttavia, considerare che la degradabilità anaerobica del fango di depurazione è limitata dalla biodisponibilità del materiale organico in esso contenuto: il primo stadio della sequenza dei processi microbiologici di digestione anaerobica è infatti quello dell'idrolisi enzimatica, che consente di solubilizzare il materiale particolato rendendolo quindi biodisponibile per le successive fasi di trasformazione fino alla produzione del biogas. Una quota parte della sostanza particolata, ad esempio, è costituita da biomassa batterica la cui parete cellulare rappresenta una barriera fisica che rende indisponibile il materiale organico degradabile in essa contenuto. In tale ambito, il trattamento dei fanghi mediante un forte ossidante come l'ozono consente un incremento della biodisponibilità del substrato tramite la lisi cellulare, che a sua volta determina un aumento della produzione di biogas e una contestuale riduzione del quantitativo di fango da smaltire.

L'ozono può essere applicato, in linea di principio, sia come pretrattamento a monte della fase di digestione (pre-ozonolisi), sia a valle del processo di stabilizzazione anaerobica (post-ozonolisi), su una linea di ricircolo del fango o in presenza di un secondo stadio di digestione che riceve il fango ozonizzato valorizzando quindi il potenziale metanigeno residuo.

Se da un lato il trattamento con ozono consente la solubilizzazione del materiale organico particolato difficilmente idrolizzabile biologicamente, dall'altro può determinare una parziale mineralizzazione (ossidazione aerobica/chimica completa a  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ) della sostanza organica: quest'ultimo aspetto deve essere quindi limitato in quanto ridurrebbe la disponibilità del materiale organico degradabile e quindi la sua successiva conversione a metano. L'aspetto critico

è dunque quello di individuare la dose ottimale di ozono che permetta di massimizzare la biodegradabilità del fango, minimizzare gli effetti di mineralizzazione ed eventualmente incrementare le cinetiche di idrolisi, che rappresentano in genere la fase limitante del processo di digestione anaerobica per substrati particolari quali i fanghi di depurazione.

I principali effetti positivi dati dall'ozonolisi del fango osservati in letteratura (Tabella 1), sono sintetizzati nel seguito:

- aumento della componente solubile della sostanza organica con contestuale riduzione della componente particolata;
- conseguente incremento della produzione specifica di biogas e dell'abbattimento di SSV;
- abbattimento dei PPCBs (Pharmaceutical and Personal Care Products) (Carballa et al. 2007) e l'abbattimento degli EDCs (Endocrine Disrupting Compounds) (Ak et al. 2013);
- possibile modifica o riduzione della concentrazione di  $\text{H}_2\text{S}$  nel biogas: l'introduzione, all'interno di un digestore, dell'ossigeno residuo dal processo di ozonazione del fango potrebbe infatti innesicare il metabolismo dei batteri solfato ossidanti garantendo una parziale ossidazione dell' $\text{H}_2\text{S}$  a zolfo elementare come avviene nei processi di micro-aerazione per la desolfurazione del biogas (Mahdy et al., 2020, Jeníček et al., 2017, Krayzelova L., 2015).

Nel recente studio di Tuncay et al. (2022), si è osservato come ad un incremento della produzione di biogas dell'8% per dosaggi di  $0,06 \text{ gO}_3/\text{gSST}$  è corrisposto un incremento di produzione di metano del 48%, ad indicazione di un incremento della concentrazione del metano nel biogas correlata ad un aumento dell'abbondanza della specie acetotrofica *Methanoseta*.

Bakhshi et al. (2018) ha osservato un effetto positivo anche operando a temperature psicrofile ( $20^\circ\text{C}$ ); con un dosaggio pari a  $0,02 \text{ gO}_3/\text{gSSV}$  ha ottenuto una produzione del 15% maggiore rispetto al fango tal quale sottoposto a digestione anaerobica mesofila a  $35^\circ\text{C}$ . In questi termini il processo di ozonolisi po-

trebbe introdurre un importante elemento di sostenibilità economico-energetica nel trattamento dei fanghi, consentendo alla fase di digestione anaerobica di ottenere le medesime prestazioni in condizioni di temperature ridotte.

Esistono inoltre esperienze di trattamento con ozono di altre matrici organiche, quali la vinassa (Aquino et al., 2015) e la frazione organica dei rifiuti (Cesaro et al., 2019, 2020).

In relazione agli effetti potenzialmente negativi dovuti al trattamento con ozono, si elenca:

- aumento della concentrazione di azoto ammoniacale in digestione e quindi nel fango digerito, dovuta all'incrementata idrolisi delle proteine (Silvestre et al. 2015). Tale effetto è comune ad altri processi di pretrattamento dei fanghi e va sempre tenuto in considerazione, allo scopo di valutarne i potenziali impatti sia in fase di digestione (inibizione da ammoniacale), sia sulla linea acque dell'impianto di depurazione a seguito di ricircolo della frazione liquida del digestato;
- mineralizzazione per via chimica o biologica aerobica di una parte del substrato organico biodegradabile, a causa di dosaggi di ozono troppo elevati. Silvestre et al. (2015) ha osservato che dosi di ozono superiori a  $0,08 \text{ gO}_3/\text{gSST}$  applicate a un fango misto hanno portato ad una riduzione del 16% dei VS. Anche Chacana et al. (2017) ha individuato un dosaggio limite superiore, pari a  $0,22 \text{ gO}_3/\text{gCOD}$ , oltre il quale si è osservata una diminuzione della concentrazione di COD totale del fango pari al 14%, rispetto alla matrice non trattata;
- riduzione del pH, a causa dell'ossidazione della sostanza organica con corrispondente riduzione dell'alcalinità del fango, e la formazione di intermedi refrattari (Bougrier et al., 2007) o inibenti, quali aldeidi (Silvestre et al., 2015), per dosi particolarmente elevate.

Gli effetti del trattamento con ozono sulle caratteristiche di disidratabilità del fango sono ancora oggetto di dibattito, con risultati contrastanti riportati in letteratura. Carballa et al. (2007) ha osservato un peggioramento della disidratabilità del fango, misurata tramite parametri quali SRF (Specific Resistance to Filtration) e il coefficiente di comprimibilità su fango digestato a valle dell'ozonazione, identificandone la causa nella capacità dell'ozono di modificare la struttura microscopica dei fiocchi i quali, risultando più dispersi causano più facilmente l'intasamento dei filtri. Anche Weemaes et al. (2000) hanno riscontrato un peggioramento della filtrabilità del fango a seguito del trattamento con ozono misurata mediante CST (Capillary Suction Time); tuttavia, l'autore ha rilevato che tale peggioramento scompare a valle della fase di

digestione anaerobica, non costituendo quindi un problema per le successive unità di trattamento del fango. In contrapposizione a tali risultati, Chacana et al. (2017) attraverso la determinazione di CST, TTF (Time To Filter) e SVI (Sludge Volume Index) ha evidenziato come l'applicazione dell'ozono non abbia determinato modifiche significative alle caratteristiche di filtrabilità e disidratabilità di un fango primario. Gli stessi autori evidenziano poi come, l'applicazione dell'ozono su fango digerito (in configurazione di post-trattamento), abbia determinato un miglioramento della filtrabilità e della sedimentabilità del fango trattato. In conclusione, non è ancora possibile sostenere con ragionevole certezza che l'ozono sia in grado di migliorare o peggiorare le caratteristiche di disidratabilità di un fango, trattato con ozono e successivamente sottoposto a digestione anaerobica. È inoltre da osservare come la letteratura sia carente in tale ambito, e necessiti di studi finalizzati a chiarire il ruolo dell'ozono sull'intera filiera di trattamento del fango e non solo limitatamente alla digestione anaerobica.

Il presente lavoro, condotto nell'ambito del progetto PerFORM WATER 2030 finanziato da Regione Lombardia (<http://www.performwater2030.it/>), ha avuto come finalità quello di verificare l'applicabilità e l'efficacia dell'ozonolisi alla scala pilota/reale quale pretrattamento del fango in ingresso alla digestione anaerobica. Allo stato attuale la letteratura riporta numerose esperienze di studi a scala laboratorio e scala pilota che confermano la possibilità di incrementare la produzione di biogas a seguito di un trattamento di ozonolisi (TRL4-5). Risultano invece isolate le esperienze a scala reale che dimostrino l'efficacia e la sostenibilità dal punto di vista operativo e gestionale del processo di ozonolisi combinato alla digestione anaerobica (Yasui et al., 2005).

Il progetto di ricerca ha previsto anche una fase di studio a scala laboratorio per valutare gli effetti dovuti all'applicazione di diversi dosaggi di ozono sul fango influente ed effluente la digestione anaerobica. La sperimentazione è stata svolta utilizzando come caso di studio un impianto di depurazione di taglia medio-piccola (30.000 AE), ubicato nel nord Italia, e che riceve un refluo caratterizzato per il 70% da acque di origine industriale, essendo il rimanente 30% di origine civile. La linea di trattamento delle acque e dei fanghi è di tipo convenzionale e il fango misto che viene generato risulta essere scarsamente degradabile.

## 2. Materiali e metodi

Lo studio è stato condotto nel periodo compreso tra marzo 2019 e aprile 2021.

La linea fanghi dell'impianto di depurazione riceve i fanghi primario e secondario (60%-40% rispetto alle

**Tabella 1.** Confronto dei risultati ottenuti in letteratura sul trattamento con ozono dei fanghi di depurazione destinati a digestione anaerobica.

Riferimento bibliografico	Tipologia di trattamento	Tipologia di sperimentazione	Tipologia di fanghi	Caratteristiche fango non trattato	Dose	Incremento solubilizzazione	Incremento BMP
Bougrier et al., 2007	Pre-ozonolisi	Scala laboratorio e prove di BMP	Fango attivo	COD <sub>sol</sub> : 0,7 g/L SST/ST: 0,96 g/g SSV/SST: 0,86 g/g COD <sub>sol</sub> /COD: 0,04 g/g BMP: 150 mL <sub>biogas</sub> /gCOD	0,015 – 0,18 gO <sub>3</sub> /gSST	COD <sub>sol</sub> : +1.114% SST/ST: -41%	+145%
Carballa et al., 2007	Pre-ozonolisi	Scala pilota mesofilia (37 °C)	Fango misto (70%v/v primario)	COD <sub>sol</sub> : 6 g/L COD <sub>sol</sub> /COD: 0,09 g/g SSV/SST: 0,64 g/g	0,02 gO <sub>3</sub> /gSST	COD <sub>sol</sub> : +167%	+26%
		Scala pilota termofilia (55 °C)					+4,6%
Ak et Al., 2013	Pre-ozonolisi	Scala laboratorio mesofilia (semi-continua)	Fango attivo	COD <sub>sol</sub> : 0,4 g/L SSV/SST: 0,62 g/g	0,66 mgO <sub>3</sub> /gSSV	COD <sub>sol</sub> : +75%	+33%
					1,33 mgO <sub>3</sub> /gSSV	COD <sub>sol</sub> : +260%	+100%
					2,65 mgO <sub>3</sub> /gSSV	COD <sub>sol</sub> : +425%	+166%
Weemaes et al., 2000	Pre-ozonolisi	Scala laboratorio e prove in batch	Fango attivo	COD <sub>sol</sub> : 0,06 g/L COD <sub>sol</sub> /COD: 0,01 g/g SSV: 5,7 g/L SSV/SST: 0,63 g/g TOC: 2,9 g/L	0,1 gO <sub>3</sub> /gCOD	COD <sub>sol</sub> : +29% TOC: +16% SST: -40% SSV: -50%	+135%
Silvestre et al., 2015	Pre-ozonolisi	Scala laboratorio e prove di BMP	Fango attivo	-	0,063 gO <sub>3</sub> /gSST	-	+21%
			Fango misto (40% primario)	-	0,063 gO <sub>3</sub> /gSST	-	+23%
Cachana et al., 2017	Post-ozonolisi	Scala laboratorio (semi-continua)	Fango digestato	COD <sub>sol</sub> : 1,07 g/L COD <sub>sol</sub> /COD: 0,02 g/g BMP: 189 mLCH <sub>4</sub> /gCOD	0,14 gO <sub>3</sub> /gCOD	COD <sub>sol</sub> : +176%	+55%
	Pre-ozonolisi		Fango primario	COD <sub>sol</sub> : 1,03 g/L COD <sub>sol</sub> /COD: 0,072 g/g	0,03 gO <sub>3</sub> /gCOD	COD <sub>sol</sub> : +24%	-
Tuncay et al., 2022	Pre-ozonolisi	Scala laboratorio (semi-continua)	Fango primario	SSV/SST: 0,7 g/g	0,06 gO <sub>3</sub> /gSST	-	+48%

portate idrauliche e 40%-60% rispetto ai solidi sospesi) con un'età del fango di supero dell'ordine di 30 giorni ed è costituita dalle seguenti unità: pre-ispessimento statico, digestione anaerobica (Carico organico volumetrico – OLR: 0,5-2 kgSV/m<sup>3</sup>/d; Tempo di ritenzione idraulica – HRT: 20 giorni), post-ispessimento statico, disidratazione con nastro pressa ed essiccazione del fango. La produzione di biogas del digestore anaerobico (in assenza di ozonolisi) si attesta su valori compresi tra 200 e 500 m<sup>3</sup>/d, con valori mediani dell'ordine di 270 m<sup>3</sup>/d e una frazione di metano dell'ordine del 67%.

### 2.1. Studio a scala reale

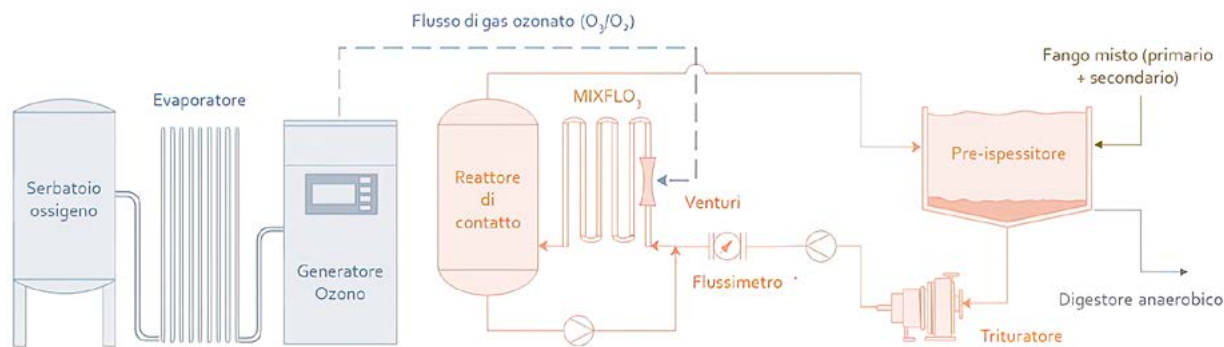
La sperimentazione a scala reale ha previsto l'installazione di un impianto pilota di ozonolisi in corrispondenza del pre-ispessitore dell'impianto di depurazione, la sua conduzione e il monitoraggio dei principali parametri operativi e di alcune variabili di interesse.

#### 2.1.1. Descrizione e conduzione dell'impianto di ozonolisi

In Figura 1 si riporta uno schema dell'impianto pilota integrato al pre-ispessitore dell'impianto, e in Figura 2 alcune immagini dell'installazione. Complessivamente l'impianto di ozonolisi installato era costituito dalle seguenti componenti:

- Generatore Ozono Wedeco SMOevo410 con capacità massima di 1,8 kgO<sub>3</sub>/h al 13% alimentato con O<sub>2</sub> puro.
- Reattore di dissoluzione e contatto della miscela ozono/ossigeno nel fango trattato: reattore da 1 m<sup>3</sup> con sistema di iniezione MIXFLO<sub>3</sub> (sistema di *pump injection* con ossigenatore tubolare di dissoluzione ed eiettore liquido-liquido).
- Pompa di alimentazione a lobi Vogelsang (0-10 m<sup>3</sup>/h).
- Trituratore Vogelsang Rota Cut 5000 pro.

L'impianto pilota è stato alimentato in continuo con



**Figura 1.** Schema dell'impianto pilota di ozonolisi del fango pre-ispessito, installato presso l'impianto di depurazione.

fango prelevato in uscita dal pre-ispessitore. Il fango trattato è stato poi ricircolato in testa al pre-ispessitore, inducendo nella tramoggia una condizione di quasi completa miscelazione ( $V_{\text{tramoggia}} : 250 \text{ m}^3$ ).

Mediamente, la portata alimentata all'impianto pilota è stata di  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ , corrispondente a circa il 30% della portata totale in ingresso al pre-ispessitore. In funzione di tale configurazione, si sottolinea come i risultati analitici riscontrati per il fango in uscita al pre-ispessitore risultino essere influenzati dalla diluizione nella frazione di fango non trattato e dai probabili processi di degradazione del materiale disciolto prodotto, instauratisi nel pre-ispessitore stesso (tempo di ritenzione nel pre-ispessitore pari a 1 giorno).

Poiché il fango addotto al pre-ispessitore era caratterizzato da un significativo contenuto di materiale grossolano (fibre/filacci/corpi solidi), tale condizione ha determinato frequenti fermi impianto causati dall'intasamento delle linee di alimentazione del fango, malgrado la presenza di una unità, di triturazione in testa al reattore di ozonolisi.

### 2.1.2. Piano sperimentale e modalità di analisi dei dati raccolti

Il piano sperimentale ha previsto l'applicazione di un dosaggio di ozono incrementale compreso tra 5 e  $60 \text{ gO}_3/\text{kgSV}$  (valore medio di  $25 \text{ gO}_3/\text{kgSV}$ ) in riferimento al fango trattato nell'impianto pilota, e conseguentemente pari a  $1,5 \div 15 \text{ gO}_3/\text{kgSV}$  (valore medio  $6 \text{ gO}_3/\text{kgSV}$ ) se riferito alla portata totale in ingresso al pre-ispessitore. I dosaggi indicati non considerano l'efficienza di trasferimento dell'ozono e fanno quindi riferimento all'ozono dosato e non effettivamente trasferito.

Le caratteristiche qualitative del biogas prodotto sono state monitorate mediante analizzatore in continuo di  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{O}_2$  (Mavetec BioBasic) installato sulla linea del biogas del digestore anaerobico.

Il monitoraggio analitico ha incluso la caratterizzazione del fango in tre sezioni dell'impianto pilota: ingresso al pre-ispessitore (nel seguito "IN-Pre-ispessitore"), in uscita dal pre-ispessitore (nel seguito "OUT-Pre-ispessitore") e in uscita dall'impianto pi-



**Figura 2.** Immagini dell'impianto pilota di ozonolisi per il trattamento di fango pre-ispessito. Da sinistra: generatore ozono, vista frontale del reattore di contatto integrato al pre-ispessitore, vista dal retro del reattore stesso.

lota (nel seguito “OUT-Impianto pilota”). Su ciascuno di questi tre flussi sono stati determinati, con frequenza settimanale, i seguenti parametri: solidi totali (ST) e volatili (SV), solidi sospesi totali (SST) e volatili (SSV), pH, ossigeno disciolto (OD), potenziale redox, alcalinità, azoto ammoniacale, fosforo solubile, COD totale, COD solubile, TKN totale, TKN solubile, contenuto di acidi grassi volatili (VFA) e di sostanze organiche quali proteine e carboidrati (totali e in forma disciolta).

L'incremento di produzione di biogas è stato verificato a scala reale mediante l'analisi delle portate di biogas prodotto dal digestore e a scala laboratorio, mediante l'esecuzione di test di BMP su campioni di fango prelevati nelle tre sezioni di monitoraggio (secondo metodo UNI/TS11703:2018).

Data la variabilità delle condizioni operative (temperatura, HRT, OLR) con cui è stato gestito il digestore durante periodo di svolgimento della sperimentazione (e non dovute alla sperimentazione in corso), i dati raccolti alla scala reale sono stati interpretati mediante un'analisi statistica multivariata (Analisi delle Componenti Principali – PCA), mediante software SPSS v.27, al fine di correlare la produzione di biogas alle condizioni di carico ed esercizio del digestore anaerobico, alle caratteristiche qualitative del fango alimentato e all'operatività del sistema di ozonolisi.

## 2.2. Studio a scala laboratorio

Lo studio a scala di laboratorio ha avuto come obiettivo quello di verificare l'influenza della dose di ozono sulle caratteristiche chimico-fisiche e di degradabilità anaerobica del fango trattato. I test di ozonolisi sono stati condotti sia su campioni di fango in uscita dal pre-ispessitore (fango fresco) sia su campioni di digestato prelevato dalla linea di ricircolo del fango del digestore (fango digestato). Sul fango in ingresso alla digestione (nel seguito “F”) sono stati testati dosaggi netti pari a: D1-F = 20 gO<sub>3</sub>/kgSV, D2-F = 50 gO<sub>3</sub>/kgSV, D3-F = 90 gO<sub>3</sub>/kgSV, D4-F = 140 gO<sub>3</sub>/gSV. Sul digestato (nel seguito “D”), sono stati testati invece dosaggi più elevati come anche indicato in letteratura (Chacana et al., 2017): D1-D = 130 gO<sub>3</sub>/kgSV, D2-D = 185 gO<sub>3</sub>/kgSV, D3-D = 240 gO<sub>3</sub>/kgSV, D4-D = 300 gO<sub>3</sub>/kgSV.

Tali prove sono state effettuate in batch, utilizzando una colonna in vetro e un volume di fango pari a 2-3 litri. Il fango veniva alimentato in continuo con una miscela di ossigeno/ozono secondo flussi dell'ordine di 70-75 mgO<sub>3</sub>/L<sub>FANGO</sub>/minuto, attraverso un diffusore poroso posto sul fondo della colonna, e per una durata utile al raggiungimento del dosaggio di ozono desiderato. La miscela di O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> è stata prodotta mediante generatore ozono Wedeco 8HC (capacità di produzione di 8 gO<sub>3</sub>/h al 7%). Al fine di determinare il dosaggio

netto di ozono, nel corso delle prove è stata monitorata in continuo la concentrazione di ozono nell'off-gas della colonna di reazione mediante analizzatore PCI-HC400. In particolare, è stata calcolata la resa di trasferimento dell'ozono nel fango trattato, secondo la relazione a seguire:

$$\eta_{\text{trasferimento}} = \frac{O_{3, \text{in colonna}} [\text{g}/\text{Nm}^3] - O_{3, \text{out colonna}} [\text{g}/\text{Nm}^3]}{O_{3, \text{in colonna}} [\text{g}/\text{Nm}^3]} \quad (1)$$

Dove:

- $\eta_{\text{trasferimento}}$  rappresenta la resa di trasferimento dell'ozono nel fango trattato.
- $O_{3, \text{in colonna}}$  rappresenta la concentrazione di ozono nel gas in ingresso alla colonna.
- $O_{3, \text{out colonna}}$  rappresenta la concentrazione di ozono nel gas in uscita dalla colonna.

Sui campioni di fango tal quale (fresco e digestato, nel seguito “D0-F e D0-D”) e trattati sono stati determinati i seguenti parametri: BMP, pH, alcalinità, OD, OUR (*Oxygen Uptake Rate*), ST, SV, SST, SSV, COD totale e solubile, TKN totale e solubile, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, carboidrati totali e solubili, proteine totali e solubili e VFA.

## 2.3. Metodi Analitici

Le analisi di pH sono state condotte mediante metodo APAT IRSA CNR M 29/2003. L'ossigeno disciolto e il potenziale redox sono stati determinati mediante sonde portatili Hach-Lange o WTW. L'alcalinità è stata determinata mediante Standard Methods 2320 (APHA, 2017).

Le analisi di ST, SV, SST, SSV, sono state eseguite secondo Standard Methods 2540 (APHA, 2017).

Le analisi di COD totale e solubile sono state svolte mediante kit analitici Hach Lange o Merck.

Le analisi dell'azoto ammoniacale sono state eseguite mediante metodo APAT IRSA CNR 4030B 29/2003 o mediante kit analitici Hach Lange. L'analisi di TKN è stata eseguita con metodica APAT IRSA CNR 5030 29/2003, modificata nel volume. Le analisi di NO<sub>3</sub>-N sono state eseguite mediante kit analitici Hach Lange.

Le analisi di PO<sub>4</sub>-P e P<sub>tot</sub> sono state eseguite mediante metodo APAT IRSA CNR 4110 A1 e A2, 29/2003.

La determinazione dei VFA (acido acetico, propionico, butirrico, isovalerico e valerico) è stata eseguita mediante gas cromatografo (DANI Master GC) accoppiato con FID secondo Standard Methods 5560 (APHA, 2017).

La filtrabilità è stata eseguita mediante determinazione del tempo di suzione capillare (CST) secondo Standard Methods 2710G (APHA, 2017), utilizzando l'apparato Type 304 CST (Triton Electronics).

Le analisi biologiche sono state eseguite secondo metodo IRSA CNR, Appendice A caratterizzazione Microscopica del fango attivato, Quaderni 110, 1999.

I test di OUR sono stati eseguiti secondo metodo interno SIAD (LBP6A, 2021) in barattolo aperto da 1 litro aperto mantenuto in completa miscelazione, su campioni di 1 litro di fango sottoposti a trattamento di ozonolisi, mediante la determinazione della variazione di ossigeno disciolto nel tempo. La concentrazione di ossigeno è stata rilevata mediante analizzatore WTW Multi 340i e sensore WTW CelloX325.

Il contenuto di carboidrati e proteine è stato determinato mediante metodo Dubois e metodo BCA (Bicinchoninic Acid Method) rispettivamente, utilizzando glucosio (Glu) e sieralbumina bovina (BSA) come standard. I seguenti coefficienti sono stati adottati per convertire le misure di carboidrati e proteine in concentrazione di COD equivalente: 1,06 gCOD/gGlu, 1,74 gCOD/gBSA.

I test di BMP sono stati svolti mediante misura volumetrica del metano, secondo metodica UNI/TS11703:2018, e prevedendo prima dell'allestimento del test lo stripping dell'ossigeno residuo del fango sottoposto a ozonolisi. Ciascun test, comprensivo di una prova in bianco per la determinazione del metano residuo generato dall'inoculo, è stato svolto in triplo, impostando un rapporto inoculo/substrato (I/S) pari a 2 gSV/gSV, e adottando un volume utile di prova pari all'80% del volume disponibile. L'inoculo anaerobico è stato campionato dal digestore stesso dell'impianto di depurazione oggetto del presente studio; il campione prelevato è stato quindi preliminarmente sottoposto ad una fase di degasaggio a 35°C per circa 5-7 giorni, al fine di ridurre la produzione specifica di metano.

**Tabella 2.** Elaborazione statistica dei parametri analitici monitorati nel corso dello studio di ozonolisi a scala reale (marzo 2019-febbraio 2020).

	UdM	IN Pre-ispessitore				OUT Pre-ispessitore				OUT Impianto pilota			
		N.dat	Media	Mediana	Dev.st.p	N.dat	Media	Mediana	Dev.st.p	N.dat	Media	Mediana	Dev.st.p
Dose O <sub>2</sub>	[gO <sub>2</sub> /kgSV]					21	<b>6,32</b>	4,38	4,45	21	<b>24,9</b>	18,8	16,4
pH	[unità]	19	<b>6,98</b>	7,03	0,20	15	<b>6,87</b>	6,92	0,19	11	<b>7,04</b>	7,13	0,24
Redox	[mV]	4	<b>-272</b>	-260	70	4	<b>-251</b>	-233	78	3	<b>-10</b>	-35	39
Alk	[mgCaCO <sub>3</sub> /l]	9	<b>1.185</b>	1.195	355	6	<b>1.258</b>	1.279	285	6	<b>1.391</b>	1.370	126
ST	[gST/L]	22	<b>22,1</b>	23,6	4,39	17	<b>23,4</b>	23,9	4,71	13	<b>27,6</b>	28,6	3,86
SV	[gSV/L]	22	<b>13,9</b>	14,7	2,76	17	<b>15,2</b>	14,9	3,45	13	<b>18,7</b>	19,6	3,14
SV/ST	[g/g]	22	<b>0,63</b>	0,64	0,51	17	<b>0,65</b>	0,63	0,58	13	<b>0,68</b>	0,67	0,53
SST	[gSST/L]	24	<b>20,1</b>	20,4	5,06	20	<b>21,4</b>	22,1	4,47	15	<b>25,6</b>	24,8	3,06
SSV	[gSSV/L]	24	<b>12,6</b>	11,9	3,23	19	<b>13,7</b>	13,9	3,01	15	<b>17,0</b>	17,2	2,65
SSV/SST	[g/g]	22	<b>0,63</b>	0,64	0,06	18	<b>0,64</b>	0,65	0,04	15	<b>0,66</b>	0,66	0,04
COD	[mgO <sub>2</sub> /L]	22	<b>22.014</b>	22.275	6.564	20	<b>25.075</b>	26.000	5.720	18	<b>28.644</b>	26.650	5.756
COD sol	[mgO <sub>2</sub> /L]	24	<b>277</b>	182	209	20	<b>424</b>	289	308	16	<b>1.026</b>	1.039	624
CODs/COD	g/g	20	<b>0,0150</b>	0,0129	0,0113	19	<b>0,0178</b>	0,0145	0,0121	16	<b>0,0352</b>	0,0343	0,0219
TKN <sub>tot</sub>	[mg/L]	21	<b>997</b>	1.073	246	20	<b>1.071</b>	1.044	246	18	<b>1.216</b>	1.127	227
TKN sol	[mg/L]	24	<b>55,6</b>	43,3	34,7	20	<b>94,5</b>	59,9	72,7	18	<b>153,8</b>	149,5	90,2
NH <sub>4</sub> -N	[mg/L]	22	<b>24,1</b>	23,1	7,2	18	<b>32,8</b>	32,3	7,8	15	<b>37,6</b>	36,4	6,1
Norg	[mg/L]	19	<b>977</b>	1.055	250	17	<b>1.058</b>	1.012	252	17	<b>1.194</b>	1.098	229
Norg sol	[mg/L]	19	<b>35,1</b>	24,4	31,2	18	<b>63,8</b>	33,0	77,1	18	<b>122,5</b>	129,7	89,8
Norg sol/ Norg	[g/g]	17	<b>0,033</b>	0,025	0,025	17	<b>0,053</b>	0,025	0,056	17	<b>0,093</b>	0,115	0,062
NO <sub>3</sub> -N	[mg/L]	22	<b>0,47</b>	0,45	0,19	18	<b>0,61</b>	0,62	0,14	14	<b>4,15</b>	3,78	3,24
P sol	[mg/L]	21	<b>4,71</b>	3,60	3,50	19	<b>6,57</b>	5,48	3,60	15	<b>5,76</b>	4,64	3,66
Acetico	[mg/L]	20	<b>300</b>	313	108	18	<b>319</b>	276	130	14	<b>378</b>	304	193
Propionico	[mg/L]	20	<b>16,9</b>	<10,0	18,3	18	<b>18,9</b>	10,7	17,3	14	<b>25,2</b>	10,0	22,2
Isobutirrico	[mg/L]	20	<b>34,8</b>	36,7	14,6	18	<b>36,7</b>	34,8	11,3	14	<b>41,3</b>	37,4	13,2
Butirrico	[mg/L]	15	<b>11,7</b>	<10,0	4,55	15	<b>12,6</b>	<10,0	4,74	14	<b>12,0</b>	<10,0	4,09
Isovalerico	[mg/L]	15	<b>9,86</b>	<10,0	1,96	15	<b>10,31</b>	<10,0	2,48	14	<b>10,89</b>	<10,0	2,89
Valerico	[mg/L]	14	<b>&lt;10,0</b>	<10,0	-	14	<b>&lt;10,0</b>	<10,0	-	14	<b>10,1</b>	<10,0	0,25
VFA tot	[mg/L]	20	<b>352</b>	369	127	17	<b>388</b>	320	143	14	<b>447</b>	374	219
BMP	[NmLCH <sub>4</sub> / gSV]	5	<b>140</b>	113	71,4	5	<b>160</b>	167	65,4	4	<b>171</b>	179	73,4
CH totali	[mgGlu/L]	17	<b>2.999</b>	3.029	538	17	<b>3.409</b>	2.947	1.457	15	<b>3.987</b>	3.734	2.061
CH solubili	[mgGlu/L]	17	<b>4,92</b>	3,94	3,78	17	<b>10,38</b>	9,88	5,57	15	<b>55,87</b>	49,59	30,43
CHs/CHtot	[g/g]	17	<b>0,0016</b>	0,0013	0,0010	17	<b>0,0036</b>	0,0026	0,0024	15	<b>0,0149</b>	0,0140	0,0062
PT totali	[mgBSA/L]	17	<b>7.377</b>	6.649	3.168	17	<b>7.417</b>	7.262	1.788	15	<b>5.740</b>	5.975	1.798
PT solubili	[mgBSA/L]	17	<b>75,2</b>	67,0	48,55	17	<b>63,3</b>	56,5	28,23	15	<b>222,0</b>	130,1	180,0
PTs/PTtot	[g/g]	17	<b>1,02</b>	0,97	0,01	17	<b>0,88</b>	0,86	0,00	15	<b>4,00</b>	3,75	2,75
Filtrabilità	CST-s/SST	3	<b>4,13</b>	3,96	0,47	3	<b>4,61</b>	4,45	0,53				

### 3. Risultati e discussioni

#### 3.1. Effetti di solubilizzazione a scala reale

In Tabella 2 si riporta l'elaborazione statistica di tutti i parametri analitici monitorati nel corso della sperimentazione a scala reale nelle diverse sezioni del processo a monte della digestione anaerobica.

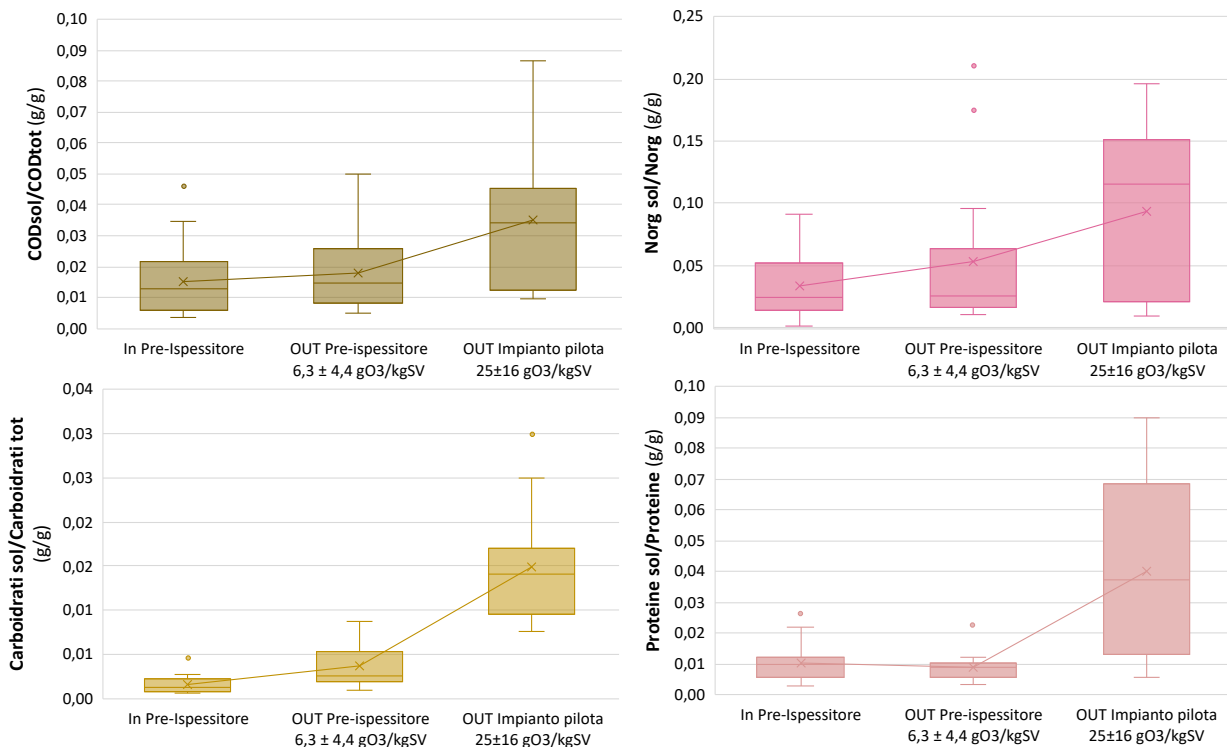
Il fango in ingresso al pre-ispessitore risulta mediamente caratterizzato da un contenuto di solidi totali e sospesi di 22 gST/L e 20,1 gSST/L) con una frazione volatile pari a 0,63 gSV/gST. Il COD del fango si attesta su valori medi di 22 gO<sub>2</sub>/L con un rapporto COD/SV pari a 1,58 gCOD/gSV ed un contenuto solubile del 1,5%. Si riscontra in media un contenuto di 997 mgTKN/L, quasi esclusivamente costituito dalla frazione organica (98%). La frazione di azoto organico disciolto risulta essere pari al 3,3% del contenuto totale. Il fango presenta un'alcalinità pari a 1.185 mgCaCO<sub>3</sub>/L, pH neutro e un potenziale redox di -272 mV.

Nei grafici di Figura 3 si rappresenta la sintesi delle grandezze statistiche dei rapporti tra componenti solubili e totali dei principali parametri, nel fango in ingresso al pre-ispessitore, in uscita dal pre-ispessitore con dosaggio di ozono attivo e in uscita dall'impianto pilota. I dosaggi di ozono (gO<sub>3</sub>/kgSV) sono stati determinati considerando l'ozono alimentato (gO<sub>3</sub>/h) al processo rispetto ai SV (kgSV/h) alimentati al pre-ispessitore o all'impianto pilota. I dosaggi di ozono testati risultano nei due casi rispettivamente pari a 6,3±4,4 gO<sub>3</sub>/kgSV e 25±16 gO<sub>3</sub>/kgSV (dosaggi totali al lordo dell'efficienza di trasferimento).

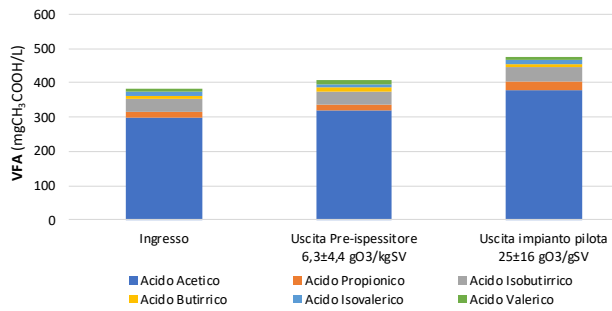
Dall'analisi dei dati si evince come il trattamento con ozono determini un incremento della frazione solubile organica e azotata del fango. Si evidenzia come in assenza del processo di ozonolisi tale effetto di solubilizzazione nel pre-ispessitore sia risultato più contenuto per il COD o addirittura non si sia verificato per l'azoto organico.

Dall'analisi dei dati, si riscontra come in media rispetto al valore in ingresso al pre-ispessitore, la frazione disciolta in uscita dal pre-ispessitore e dall'impianto pilota, risulti essere rispettivamente 1,3-2,0 volte superiore per il COD e 1,2-3,0 volte superiore per l'azoto. Si sottolinea come la frazione solubile di COD e Azoto organico del fango in uscita dall'impianto pilota incrementi nonostante l'aumento della concentrazione dei solidi totali, dovuta a un addensamento del fango nel punto di campionamento posto in prossimità dell'aspirazione della pompa di ricircolo del pilota. A tali incrementi corrispondono aumenti anche nel contenuto disciolto di carboidrati (2-9 volte superiore in uscita alle due sezioni rispetto all'ingresso) e proteine (6 volte superiore in uscita dall'impianto pilota rispetto all'ingresso) ad indicazione di come l'azione dell'ozono si esprima nella lisi del materiale polimerico intra-extracellulare, caratterizzato da una natura proteico-zuccherina.

La concentrazione dei composti solubili nel fango in uscita dall'impianto pilota di ozonizzazione raggiunge in media valori dell'ordine di 1.000 mgCOD/L, 123 mgNorg/L e 36 mgNH<sub>4</sub>-N/L. Conseguentemente, a



**Figura 3.** Box plot (90%ile) dei rapporti tra frazioni solubili e tal quali di COD, Azoto organico, Carboidrati e Proteine nel fango in ingresso al pre-ispessitore, in uscita dal pre-ispessitore e in uscita dall'impianto pilota (n. dati=15-21).

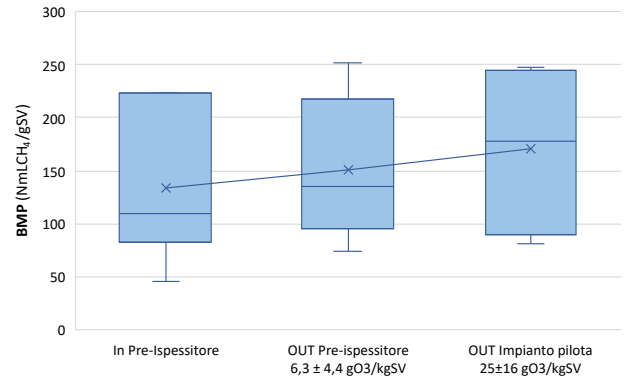


**Figura 4.** Valore medio VFA nel fango in ingresso al pre-ispessitore rispetto al fango trattato con ozono in uscita dal pre-ispessitore e in uscita dall'impianto pilota (n=14-21).

seguito del trattamento con ozono, la concentrazione della sostanza solubile nel fango in uscita dal pre-ispessitore risulta (tra parentesi gli incrementi rispetto all'ingresso): COD: 420 mgO<sub>2</sub>/L (+147 mgO<sub>2</sub>/L), N organico: 64 mgNorg/L (+ 29 mgNorg/L), N-NH<sub>4</sub>: 33 mgNH<sub>4</sub>-N/L (+9 mgNH<sub>4</sub>-N/L). Non si riscontrano al contrario, variazioni significative sul fosforo rimasto entro valori di 4-6 mgPsol/L lungo la filiera di trattamento.

L'effetto della lisi espressa dall'ozono si nota anche dal contenuto di acidi volatili, che aumenta del 30% in uscita dall'impianto pilota, con oltre l'80% riferibile all'acido acetico. Tale incremento è probabilmente riconducibile all'effetto dell'ozono nella degradazione di substrati organici più complessi (Li et al., 2017).

Le prove di BMP svolte sul fango prelevato nelle diverse sezioni dell'impianto (Figura 5) mostrano come rispetto al fango alimentato al pre-ispessitore, il fango

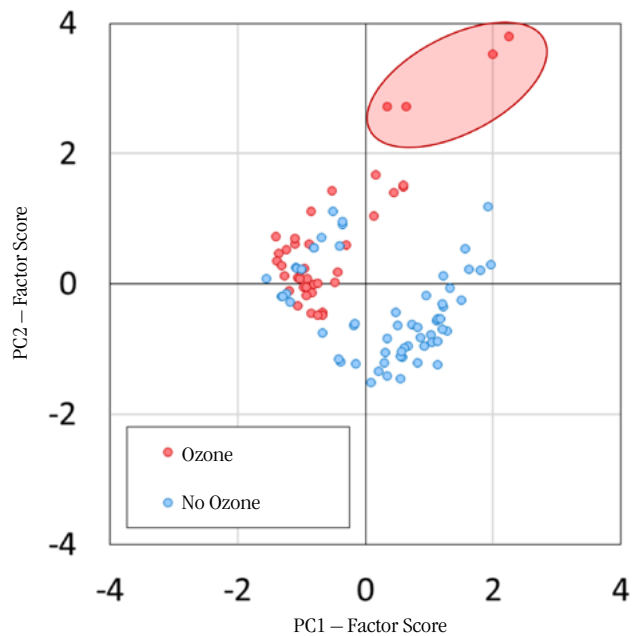
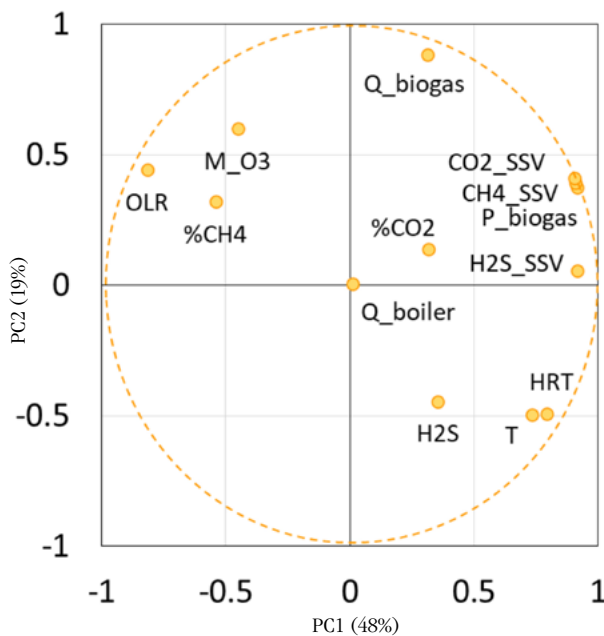


**Figura 5.** Box plot (90°ile) dei BMP (NmLCH<sub>4</sub>/gVS) nel fango in ingresso al pre-ispessitore, in uscita dal pre-ispessitore e in uscita dall'impianto pilota (n. dati=4-6).

trattato evidenzia in media un incremento nella capacità di produzione di metano pari al 14% in uscita dal pre-ispessitore e al 22% in uscita dall'impianto pilota. Si sottolinea come il fango in ingresso abbia registrato un'elevata variabilità nel suo potenziale metanigeno, andando ad influenzare i risultati ottenuti.

### 3.2. Produzione e composizione del biogas a piena scala

Al fine di valutare a scala reale gli effetti dell'ozonolisi in termini di incremento di produzione di biogas, è stata eseguita un'analisi statistica multivariata delle componenti principali. L'analisi statistica ha consentito di analizzare l'effetto del trattamento con ozono congiuntamente ad altri fattori che determinano la produzione di biogas in un digestore anaerobico, quali le condizioni gestionali-operative e/o le caratteristiche qualitative dei fanghi trattati.



**Figura 6.** Risultati della analisi PCA: (a) fattori di peso delle variabili rispetto alle prime due componenti principali ("loading plot"); (b) fattori di punteggio standardizzati di ciascun caso sulle due componenti principali ("score plot").



Nel dettaglio, sono stati confrontati due periodi all'interno della sperimentazione: uno senza ozonolisi attiva (19/02/2020-30/04/2020) e uno con ozonolisi attiva (13/01/2020-12/02/2020). I risultati dell'analisi statistica sono mostrati in Figura 6.

L'analisi ha permesso di individuare due componenti principali (PC) ottenute dalla combinazione lineare di indicatori e parametri caratteristici del processo di digestione anaerobica. La prima componente (PC1) lega la produzione specifica di biogas ( $P_{\text{biogas}}$ ,  $\text{m}^3/\text{kgSSV}$ ) ai parametri operativi dell'impianto (T, HRT, OLR). La seconda componente (PC2) mette in relazione l'ozono dosato ( $M_{\text{O}_3}$   $\text{gO}_3/\text{kgSSV}$ ) sia con il contenuto di  $\text{H}_2\text{S}$  nel biogas (relazione inversamente proporzionale), sia con la portata di biogas prodotta,  $Q_{\text{biogas}}$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) (relazione direttamente proporzionale). Le due componenti individuate spiegano in totale il 67% della variabilità dei dati.

Il grafico dei fattori di peso ("loading plot") (Figura 6a), fornisce una mappa dei pesi delle variabili sulle prime due componenti principali, mentre il grafico dei fattori di punteggio ("score plot") (Figura 6b) fornisce una mappa dei casi delle componenti principali 1 e 2.

Dai risultati di Figura 6b si osserva che i due periodi, con e senza ozono, si differenziano statisticamente tra loro (rispettivamente dati rossi e dati azzurri). Inoltre, all'interno del gruppo di dati con ozonolisi attiva, si evidenzia un'ulteriore divisione in due gruppi in relazione al periodo di funzionamento dell'impianto di ozonolisi (dati dentro/fuori il cerchio rosso). In particolare, si nota che i dati registrati in corrispondenza di una durata di funzionamento complessivo dell'impianto di ozonolisi superiore ad 1 HRT del digestore (circa 20 giorni) si distanziano maggiormente rispetto a quelli registrati per durate inferiori all'HRT del digestore. Analizzando la produzione specifica di biogas nei periodi identificati, seppur in condizioni operative non del tutto confrontabili, è possibile stimare un aumento della produzione di biogas di circa il 20% nel periodo con ozonolisi attiva ( $0,38 \div 0,85 \text{ m}^3/\text{kgSSV}$ ) secondo dosaggi medi di  $10 \text{ gO}_3/\text{gSV}$ , rispetto al periodo senza pretrattamento con ozono ( $0,27 \div 0,69 \text{ m}^3/\text{kgSSV}$ ).

Il risultato dell'analisi statistica conferma quindi i risultati ottenuti in laboratorio con i test BMP e indica come sia necessario almeno 1 HRT di funzionamento continuo del pretrattamento, al fine di evidenziare le effettive prestazioni ottenibili dal processo. Data la variabilità delle condizioni operative del digestore, e la conseguente necessità di interpretare i dati mediante opportuni strumenti statistici, è tuttavia da considerare plausibile che non tutto l'incremento registrato (20%) sia da attribuirsi all'ozono, ma anche in parte dalle condizioni operative variate. In questi termini, i dati ottenuti sono influenzati dalla risposta transitoria



**Figura 7.** Concentrazione  $\text{H}_2\text{S}$  nel biogas con e senza processo di ozonolisi in funzione ( $n=60-42$ ).

del reattore e potrebbero quindi sottostimare l'effetto del trattamento applicato.

Il processo di ozonolisi, oltre a determinare un incremento del BMP del fango trattato, ha determinato un miglioramento delle caratteristiche qualitative del biogas prodotto a piena scala, con particolare riferimento alla concentrazione di  $\text{H}_2\text{S}$ , ridottasi di circa il 50% durante la fase con ozonolisi attiva, passata in media da 2.390 ppm a 1.280 ppm (Figura 7). Tale evidenza risulta dipendere dall'azione di ossidazione chimica e biologica dello zolfo ridotto contenuto nel fango grazie alla disponibilità di ossigeno disciolto derivante dalla fase di ozonolisi (Mahdy et al., 2020; Jeníček et al., 2017; Krayzelova L., 2015).

### 3.3. Condizioni redox a scala reale

Un parametro mantenuto sotto controllo nel corso dell'esercizio del processo di ozonolisi è stata la concentrazione di ossigeno nel biogas, al fine di monitorarne eventuali incrementi in grado di esprimere un'azione inibente rispetto al processo di digestione anaerobica oltre che rappresentare un elemento di attenzione ai fini della sicurezza. Il valore si è sempre mantenuto ampiamente sotto lo 0,5%, indipendentemente dal funzionamento del processo di ozonolisi.

Anche il controllo del potenziale redox del digestore (centralina HACH sc200, sensore redox/temperatura serie pHdsc, posizionato sulla linea di ricircolo del fango del digestore a monte dello scambiatore termico) nel corso della sperimentazione ha dato evidenza del mantenimento delle condizioni strettamente riducenti del digestato ( $-430/-500 \text{ mV}$ ) durante tutto il periodo sperimentale, confermando l'esistenza di condizioni ottimali per la metanogenesi. Infatti, durante tutto il periodo di sperimentazione del processo di ozonolisi a piena scala, non è stato riscontrato alcun effetto di inibizione rispetto all'attività metanigena.

Si sottolinea come il potenziale redox del fango alimentato alla digestione anaerobica risulti essere mediamente pari a  $-270/-250 \text{ mV}$  (ingresso/uscita pre-i-

spessitore). In uscita dall'impianto di ozonolisi tale valore si porta in media su valori -10 mV (variati da -40 mV a +46 mV data l'elevata putrescibilità del fango) con un aumento della concentrazione dell'ossigeno fino a 15-20 mgO<sub>2</sub>/L. Le condizioni riducenti del fango vengono recuperate in circa 20-30 minuti con un tasso di consumo di ossigeno (OUR) nel fango in uscita dal comparto di ozonolisi dell'ordine di 30-40 mgO<sub>2</sub>/L/h.

Tale consumo corrisponde alla biodegradazione aerobica di sostanza organica che viene sottratta al processo di digestione anaerobica. In termini quantitativi, si può stimare come tale consumo corrisponda ad una rimozione di 40 mgCOD/L ovvero 4,4 gCOD/kgSV, corrispondente ad una perdita trascurabile nella produzione di metano, quantificabile in circa 1,5 NLCH<sub>4</sub>/kgSV.

Al fine di ridurre comunque al minimo il consumo aerobico del substrato organico disponibile, e soprattutto, garantire la sicurezza del processo, risulta importante ottimizzare la fase di degasaggio nel reattore di contatto.

### 3.4. Aspetti tecnico-operativi a scala reale

La conduzione dell'impianto pilota di ozonolisi per il trattamento del fango al pre-ispessimento è stata caratterizzata da numerose problematiche operative, principalmente correlabili alla natura del fango trattato. In particolare, il fango misto primario/secondario era caratterizzato da una significativa presenza di materiale grossolano (fibre, filacci, corpi solidi) che ha creato problemi di intasamenti nel circuito idraulico dell'impianto pilota (sistema venturi, linee di carico/scarico fango, trituratore, girante della pompa di ricircolo).

In Figura 8 si riportano alcune immagini relative alle problematiche indotte dalla natura del fango trattato.

Le difficoltà incontrate, se da un lato hanno rallentato il procedere del piano sperimentale, dall'altro hanno permesso di valutare aspetti tecnico-operativi utili all'ottimizzazione progettuale del reattore di contatto.

### 3.5. Test di ozonolisi e prove di BMPa scala laboratorio

Contestualmente alla sperimentazione su scala reale sono state svolte prove di ozonolisi e BMP in scala laboratorio su fango in ingresso alla digestione (fango fresco) e su digestato, testando dosaggi da 20 a 140 gO<sub>3</sub>/kgSV per il fango fresco e da 130 a 300 gO<sub>3</sub>/kgSV per il fango digestato.

Nei grafici di Figura 9, si riportano le rese di trasferimento dell'ozono in funzione del suo dosaggio netto, ottenute nelle prove di ozonolisi svolte sul fango fresco e digestato. Si evidenzia come le curve di trasferimento dell'ozono risultino diverse nelle prove svolte sulle due tipologie di fango considerato, ad indicazione della diversa modalità di interazione dell'ossidante con le matrici trattate. In particolare, si evidenzia l'andamento a "gradini" per dosaggi specifici diversi, a conferma dell'instaurarsi di fasi successive di ossidazione in funzione delle caratteristiche chimico-fisiche delle matrici trattate.

Si mette in evidenza come nel corso delle prove, soprattutto per il digestato, si sia determinata la produzione significativa di schiume, aspetto quest'ultimo da tenere in considerazione nel dimensionamento e nell'esercizio di reattori di contatto a scala reale.

Nelle immagini di Figura 10, si riporta l'aspetto dei campioni di fango fresco e digestato sottoposto a trattamento di ozonolisi ai diversi dosaggi impostati. Si evidenzia come il fango trattato con processo di ozonolisi dimostri un significativo incremento della separazione solido-liquida. Unitamente all'incremento della sedimentabilità si rileva anche un aumento della resistenza alla filtrazione, dovuta alla dispersione di materiale organico/colloidale nel bulk liquido.

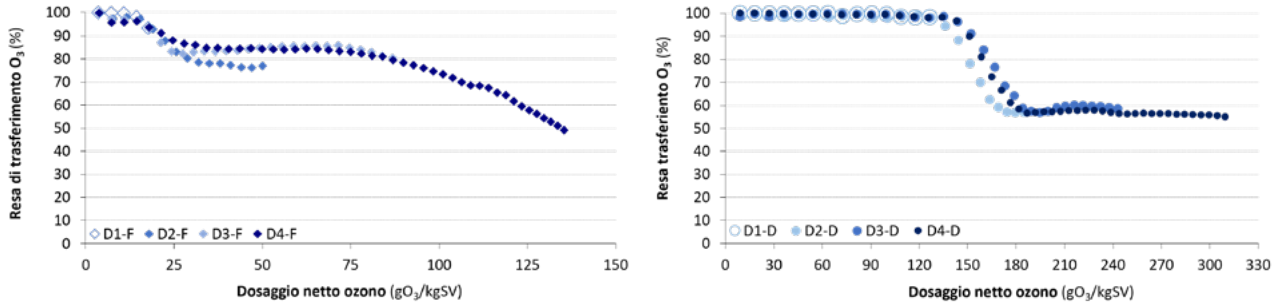
L'osservazione al microscopio ottico (IRSA CNR, Quaderni 110, 1999) dei fanghi pre e post ozonolisi, consente di confermare l'effetto dell'ossidante sulle strutture fiocose e sulle cellule batteriche. Come evidente nelle immagini in Figura 11 si osserva una significativa differenza tra il fango tal quale (Figura 11a) e quello trattato (Figura 11b e 11c) in termini di: dimensioni dei fiocchi, inferiori nei



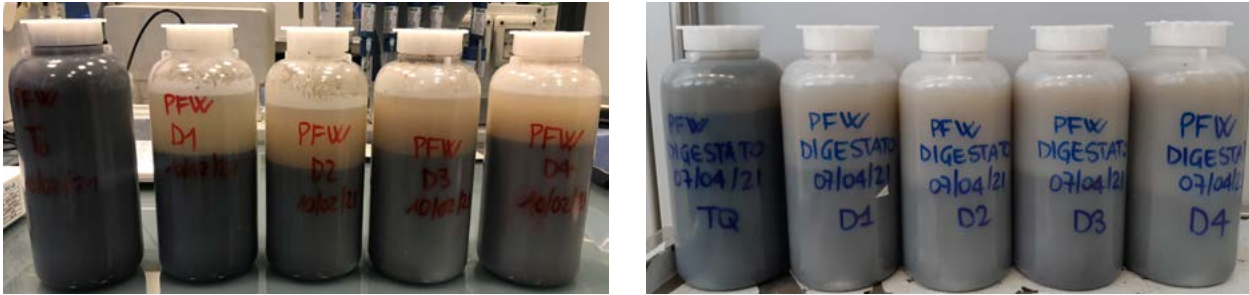
**Figura 8.** Immagini connesse alle problematiche indotte dalla natura del fango trattato. Da sinistra: intasamento trituratore, dettaglio dispositivo Venturi soggetto a fenomeni di intasamento, esempi di fango recuperato da dispositivo venturi a seguito di fenomeni di intasamento.

IdA





**Figura 9.** Resa di trasferimento dell'ozono in funzione del suo dosaggio netto, ottenuta per le prove svolte sul fango fresco (a sinistra) e sul fango digestato (a destra).



**Figura 10.** Aspetto fango dopo trattamento con ozonolisi ai diversi dosaggi testati su fango fresco (a sinistra) e sul fango digestato (a destra). Prove eseguite rispettivamente a febbraio 2021 e aprile 2021.

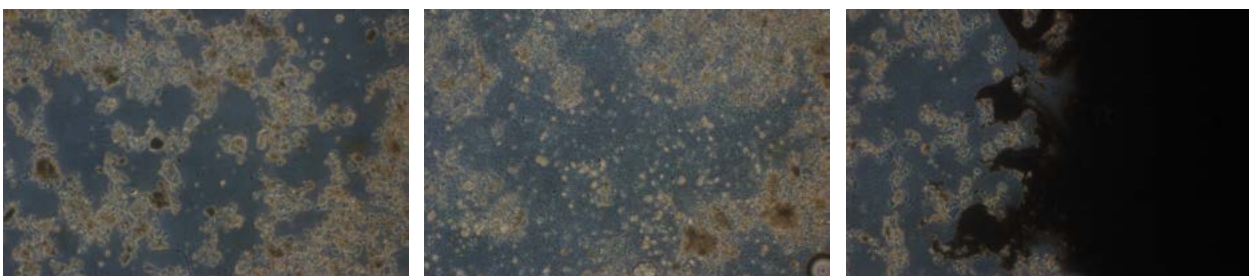
fanghi trattati a causa della deflocculazione e di presenza di materiale finemente disperso a seguito della lisi cellulare con rilascio di sostanza organica, in forma colloidale e disciolta. Il conseguente aumento della viscosità del mezzo viene confermato dalla mancata penetrazione dell'inchiostro di china all'interno della matrice (Figura 11c).

Dal punto di vista analitico il fango fresco testato è risultato caratterizzato da un rapporto SV/ST di 0,66 g/g con un contenuto di solidi totali di 29,1 gST/L e un rapporto  $COD_{sol}/COD$  di 0,02 g/g con un contenuto di COD totale di 34,8 gCOD/L. Per quanto concerne il fango digestato è stato riscontrato un contenuto di ST di 14,0 gST/L con un rapporto SV/ST di 0,58 g/g, corrispondenti ad un valore di 14,1 gCOD/L e un rapporto di  $COD_{sol}/COD$  di 0,01 g/g. In entrambi i casi la componente di solidi sospesi costituiva circa il 100% della componente solida totale.

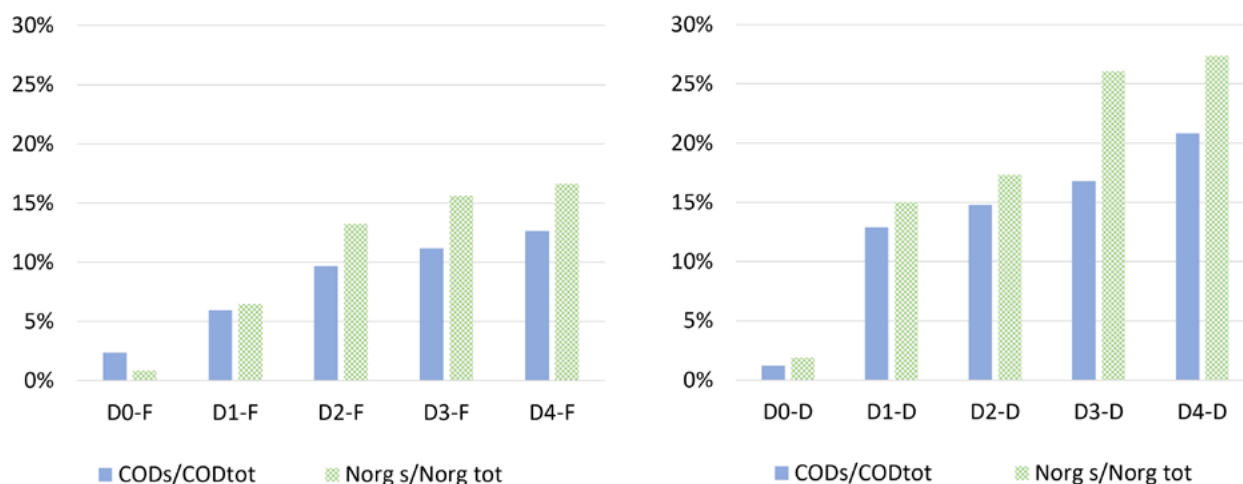
Nei grafici di Figura 12 si riportano gli effetti di solubilizzazione espressi dal trattamento di ozonolisi nei due fanghi in esame. Tali effetti sono risultati in entrambi i ca-

si particolarmente significativi ad indicazione dell'azione di lisi espressa dall'ozono rispetto al materiale inter-extra cellulare di natura organica-azotata.

Per il fango fresco con la dose di ozono di 140 gO<sub>3</sub>/kg-SV, il rapporto tra COD solubile e COD totale è aumentata dal 2,4% al 12,6% (nello specifico il  $COD_{sol}$  passa da 818 mgCOD/L a 4.030 mgCOD/L con una variazione di +393%), mentre il rapporto tra azoto organico solubile e totale è variato dallo 0,8% al 16,6%. Contestualmente all'aumento della solubilizzazione si riscontra una riduzione del contenuto di SSV dell'ordine del 5-11% al variare del dosaggio di ozono. Dall'analisi di ST e SV non si evidenzia un trend crescente nella mineralizzazione del fango. Si riscontra come all'aumentare del dosaggio di ozono si sia registrata una riduzione del pH del fango da 6,3 a 5,5 unità e una corrispondente riduzione dell'alcalinità da 1.120 a 290 mgCaCO<sub>3</sub>/L. L'alcalinità si riduce in prevalenza per effetto dei processi di ossidazione



**Figura 11.** Aspetto del fango al microscopio ottico a 100X. Prova di ozonolisi fango digestato. Da sinistra, aspetto del fango tal quale non trattato (a), aspetto del fango trattato con 185 mgO<sub>3</sub>/gSV (b) e test con inchiostro di china su campione trattato (c).



**Figura 12.** Effetto ozonolisi sul rapporto delle componenti solubili rispetto alla frazione totale registrato nei test svolti su fango fresco (a sinistra) e sul fango digerato (a destra).

della sostanza organica, per lo stripping della  $CO_2$  e per eventuali fenomeni di nitrificazione. Non si riscontrano, infine, effetti significativi dell'ozono sui VFA e sulla loro speciazione.

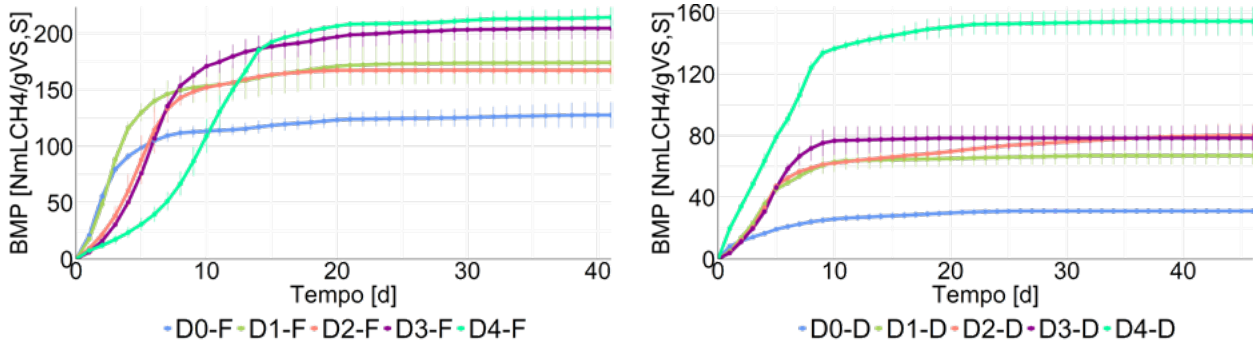
Per il fango digerato, gli effetti di solubilizzazione risultano più accentuati, registrando al dosaggio massimo di  $300 \text{ gO}_3/\text{kgSV}$  un incremento del COD solubile da  $170 \text{ mgCOD/L}$  a  $2.840 \text{ mgCOD/L}$ , corrispondente ad una variazione di circa il 1.600%. In termini azotati si riscontra un incremento della frazione solubile dell'azoto organico da  $12$  a  $170 \text{ mgN/l}$  corrispondente ad un aumento di circa il 1.300%. Alla solubilizzazione della sostanza organica corrisponde una riduzione dei VSS dell'ordine del 7-24%. Non si rilevano invece effetti di mineralizzazione, se non una riduzione del 10-11% dei SV per i dosaggi più elevati (D3-D e D4-D). L'ozonolisi del digerato ha determinato un significativo incremento dei VFA totali, passati da  $67 \text{ mg/L}$  a  $251 \text{ mg/L}$  per il massimo dosaggio testato. Tale incremento è imputabile principalmente all'aumento di acido acetico che è passato da  $28,8 \text{ mg/L}$  a  $166 \text{ mg/L}$ , a seguito del probabile instaurarsi di processi di idrolisi di acidi grassi a lunga catena e/o dell'ossidazio-

ne di carboidrati. L'applicazione dell'ozono sul digerato non ha indotto variazioni significative nel pH, che è rimasto nel campo della neutralità (7,2 unità), benché si sia registrata una riduzione dell'alcalinità da  $1.985$  a  $1.080 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ .

In Tabella 3 si riportano i risultati delle prove di BMP condotte su fango fresco e digerato, trattati a diversi dosaggi di ozono. I dati mostrano come, in entrambi i casi, all'aumentare del dosaggio di ozono aumenta la produzione specifica di metano. Le curve di BMP riportate in Figura 13, indicano come la produttività del metano sia aumentata di 1,4-1,7 volte per il fango fresco (incremento relativo del 38-74%) e di 2-5 volte per il fango digerato (incremento relativo del 115-394%). L'aumento del BMP risulta in linea con gli effetti di solubilizzazione dei composti organici e azotati delle matrici trattate con ozono, con corrispondente incremento della frazione di solidi volatili degradabili anaerobicamente. La cinetica del BMP non è cambiata in modo significativo se si considera il tempo per raggiungere il 90% del valore di BMP finale, rimasta entro i 16 giorni per il fango fresco ed entro i 12 giorni per il fango digerato (fa eccezio-

**Tabella 3.** Risultati prove di BMP per fango fresco e fango digerato.

	Dosaggio netto $O_3$ [ $\text{gO}_3/\text{kgSV}$ ]	BMP [ $\text{NmLCH}_4/\text{gSV}$ ]	Incremento BMP	Tempo per raggiungere il 50% del BMP [d]	Tempo per raggiungere il 90% del BMP [d]
D0-F	0	123	-	2,5	13
D1-F	20	170	38%	3	13
D2-F	50	167	36%	5	10
D3-F	90	201	63%	6	14
D4-F	140	214	74%	10	16
D0-D	0	31	-	4,5	10
D1-D	130	67	115%	4	9
D2-D	185	80	156%	4,5	23
D3-D	240	78	152%	5	8
D4-D	300	154	394%	5	12



**Figura 13.** Curve di BMP sul fango sottoposto ad ozonolisi a diversi dosaggi. A sinistra risultati ottenuti per fango fresco, a destra risultati ottenuti per fango digerato.

ne il dosaggio D2-D). D'altro canto, è possibile osservare una diminuzione della pendenza iniziale delle curve di BMP con l'aumentare del dosaggio di ozono e un analogo incremento del tempo di raggiungimento del 50% del BMP, soprattutto se riferito al fango fresco. Questo rallentamento iniziale dà evidenza di un effetto svolto dal processo di ozonolisi sull'attività metanigena, probabilmente connesso ad un potenziale residuo di ossigeno disciolto o alla produzione di sostanze meno compatibili con il processo anaerobico. Tale effetto si riscontra comunque solo nella fase iniziale del test di BMP, dando evidenza del successivo completo recupero dell'attività metanigena.

### 3.6. Sostenibilità economica

Il processo di ozonolisi determina un incremento della produzione di biogas e la riduzione dei fanghi da smaltire, richiedendo un consumo di energia elettrica e di ossigeno per il funzionamento del generatore di ozono e del reattore di contatto. Sulla base dei risultati ottenuti durante la sperimentazione descritta, una prima analisi tecnico-economica ha evidenziato come il processo di ozonolisi risulti essere maggiormente sostenibile qualora applicato come pretrattamento del fango in ingresso alla digestione anaerobica, raggiungendo una copertura dei costi di esercizio (OPEX) e di investimento (CAPEX) dell'ordine del 150%. Tale stima considera un processo di digestione anaerobica con OLR di 1,2 kgSV/m<sup>3</sup>/d e resa di degradazione dei SV del 40%, un dosaggio di ozono nel fango in ingresso di 0,02 gO<sub>3</sub>/gSV, con un corrispondente incremento ipotizzato della produzione specifica di biogas del 40% e una rimozione dei SST del 7%. I costi unitari utilizzati per la stima sono pari a 150-180 €/t per smaltimento dei fanghi, 0,14-0,25 €/kWh per l'energia elettrica, 0,10-0,15 €/kg per l'ossigeno puro. Le valutazioni considerano il recupero del biogas maggiormente prodotto per l'autoproduzione di corrente elettrica o l'immissione in rete a seguito di *up-grading* a biometano, il recupero dell'ossigeno nel comparto di ossidazione biologica e un ammortamento degli impianti in dieci anni.

La voce che incide maggiormente sulla sostenibilità economica del processo risulta essere quella relativa al

minor costo da sostenere per lo smaltimento dei fanghi, seguita dal risparmio nella fornitura di energia elettrica grazie all'incremento della produzione di biogas e dal risparmio in linea acque derivante dal recupero dell'ossigeno in eccesso, in ossidazione biologica.

Nel caso dell'applicazione della post-ozonolisi sul fango digerato le valutazioni economiche appaiono in prima analisi meno favorevoli, evidenziando solo una parziale copertura dei costi aggiuntivi indotti; tuttavia, tale stima andrà confermata con l'esercizio di un impianto a scala reale.

## 4. Conclusioni

Il presente lavoro, rientrante nel progetto di ricerca PERFORM WATER 2030 finanziato da Regione Lombardia con fondi europei, espone i risultati ottenuti nello studio, a scala reale e di laboratorio, del processo di ozonolisi applicato alla digestione anaerobica.

Lo studio mostra come il trattamento di ozonolisi induca una significativa solubilizzazione della sostanza organica e azotata costituente il fango trattato. Tale effetto consente di aumentare la biodisponibilità dei substrati, inducendo un incremento della produzione di biogas del processo anaerobico e riducendo la quantità dei fanghi residui da smaltire. Nel dettaglio, l'applicazione a scala reale del processo di ozonolisi sul fango pre-ispessito secondo dosaggi di circa 10 gO<sub>3</sub>/kgSV, ha dato evidenza di un incremento del biogas prodotto in digestione anaerobica dell'ordine del 20%. Test di ozonolisi a scala laboratorio su fango pre-ispessito (dosaggi di 20-140 gO<sub>3</sub>/kgSV) e su digerato (dosaggi di 130-300 gO<sub>3</sub>/kgSV) hanno mostrato incrementi di capacità di produzione di metano dell'ordine del 38%-74% e del 115%-500% per le due tipologie di fango. La riduzione dei solidi sospesi a valle del trattamento con ozonolisi si è attestata su valori del 10-20%. Il trattamento di ozonolisi a scala reale ha dato riprova di migliorare la qualità del biogas prodotto, andando ad abbattere il contenuto di H<sub>2</sub>S per effetto dell'ossigeno disciolto residuo. Tutti i risultati ottenuti danno in-



**Figura 14.** Impianto di stoccaggio, evaporazione e trasferimento dell'ossigeno nel processo di depurazione.

dicazione di come l'ozonolisi, per i dosaggi testati, non esprima effetti inibenti rispetto al processo di digestione anaerobica. L'esercizio del processo di ozonolisi a scala reale oltre a metterne in evidenza le prestazioni, ha consentito di ottenere informazioni utili per la definizione progettuale del reattore di contatto e della configurazione delle unità di processo e di controllo all'interno della linea fanghi. Si rileva l'importanza del pretrattamento del fango con un'efficace fase di triturazione al fine di omogeneizzare la matrice trattata e ridurre al minimo i fenomeni di intasamento lungo la linea impiantistica. Altrettanto importante risulta la fase di degassaggio a valle del processo di ozonolisi al fine di minimizzare il consumo aerobico dei substrati, evitare il trascinamento di ossigeno in forma gassosa nel comparto anaerobico, nonché recuperare l'ossigeno in eccesso da riutilizzare eventualmente in linea acque. Visto il significativo effetto di riduzione dell'alcalinità del fango trattato mediante ozonolisi, il controllo di tale parametro è importante al fine di garantirne la disponibilità in fase di digestione anaerobica. In base alle evidenze riscontrate, i parametri guida da monitorare e collegare a un sistema automatico di controllo dell'intero processo sono rappresentati dalla

composizione del biogas e dal pH/Redox del digestato. Il proseguimento dell'attività è volto all'applicazione del processo di ozonolisi a piena scala con l'ottimizzazione del reattore di contatto sulla base dell'esperienza acquisita, ponendo particolare attenzione all'effetto del trattamento con ozono rispetto alle fasi di disidratazione e smaltimento del fango. I dati raccolti consentiranno inoltre di confermare la sostenibilità economico-ambientale del processo. ■

### Riferimenti bibliografici

- Ak M.S., Muz M., Komesli O.T., Gökçai C.F. (2013). Enhancement of bio-gas production and xenobiotics degradation during anaerobic sludge digestion by ozone treated feed sludge. *Chemical Engineering Journal*, 230, 499–505.
- APHA, AWWA, WEF (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 31 Luglio 2017. Ed. Water Environmental Federation. ISBN 978-0875532875.
- APAT IRSA CNR (2003). *Metodi Analitici per le Acque. Volume Primo. APAT, Manuale e Linee Guida*, 29/2003. ISBN 88-448-0083-7.

- Aquino S., Pires E.C. (2015). Assessment of ozone as a pretreatment to improve anaerobic digestion of vinasse. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 33(2), 279-285, April – June, 2016.
- Bakhshi Z., Jauffur S., Frigon D. (2018). Assessing energy benefits of operating anaerobic digesters at low temperature with solids pre-ozonation. *Renewable Energy* 115 (2018) 1303-1311.
- Bougrier C., Battimelli A., Delgenes J.P., Carrère H. (2007). Combined Ozone Pretreatment and Anaerobic Digestion for the Reduction of Biological Sludge Production in Wastewater Treatment. *Ozone: Science and Engineering*, 29: 201-206.
- Carballa M., Monterola G., Larrea L., Ternes T., Omil F., Lema J.M. (2007). Influence of ozone pre-treatment on sludge anaerobic digestion: Removal of pharmaceutical and personal care products. *Chemosphere* 67 1444-1452.
- Cesaro A., Belgiorno V., Siciliano A., Guida M. (2019). The sustainable recovery of the organic fraction of municipal solid waste by integrated ozonation and anaerobic digestion. *Resources, Conservation & Recycling* 141 (2019) 390–397.
- Cesaro A., Belgiorno V. (2020). Ozone pretreatment for the anaerobic digestion of organic solid waste. *Detritus, Multidisciplinary Journal for Waste Resources & Residues*, Volume 12 – 2020 / pages 51-56.
- Chacana J., Labelle M.A., Laporte A., Gadbois A., Barbeau B., Comeau Y. (2017). Ozonation of Primary Sludge and Digested Sludge to Increase Methane Production in a Chemically Enhanced Primary Treatment Facility. *Ozone: Science and Engineering*, 2017,39, NO 3, 148-158.
- Jeníček P., Horejš J., Pokorná-Krayzelová L., Bindzar J., Bartáček J. (2017). Simple biogas desulfurization by microaeration e Full scale experience. *Anaerobe*, 46, 41-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anaerobe.2017.01.002>.
- Krayzelova L., Bartacek J., Diaz I., Jeison D. Volcke E.I.P., Jenicek P. (2015). Microaeration for hydrogen sulfide removal during anaerobic treatment: a review. *Environ Sci Biotechnol* (2015) 14:703–725. DOI 10.1007/s11157-015-9386-2.
- IRSA CNR (1999). Il problema del bulking filamentoso e delle schiume biologiche negli impianti a fanghi attivati. *Quaderno 110*, Appendice A. ISSN 0390-6329.
- Li X., Xu X., Huang S., Zhou Y. and Jia H. (2017). An efficient method to improve the production of methane from anaerobic digestion of waste activated sludge. *Water Science and Technology* 25 October 2017; 76 (8): 2075–2084. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2017.313>.
- Mahdy A., Song Y., Salama A., Qiao W., Dong R. (2020). Simultaneous H<sub>2</sub>S mitigation and methanization enhancement of chicken manure through the introduction of the micro-aeration approach. *Chemosphere*, 253 (2020), 126687.
- Otieno B., Apollo S., Kabuba J., Naidoo B., Simate G., & Ochieng A. (2019). Ozonolysis pre-treatment of waste activated sludge for solubilization and biodegradability enhancement. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 7 102945.
- PerFORM WATER 2030. (2018). Piattaforma di ricerca e sperimentazione PerFORM WATER 2030. Disponibile su: <http://www.performwater2030.it>.
- Silvestre G., Ruiz B., Fiter M., Ferrer C., Berlanga J.G., Alonso S., Canut A. (2015). Ozonation as a Pre-Treatment for Anaerobic Digestion of Waste-Activated Sludge: Effect of the Ozone Doses. *Ozone: Science & Engineering*, 37: 316-322.
- Tuncay S., Akcakaya M., Içgen B. (2022). Ozonation of sewage sludge prior to anaerobic digestion led to Methanosaeta dominated biomethanation. *Fuel*, 313 (2022) 122690.
- Weemaes M., Grootaerd H., Simoens F., Verstraete W. (2000). Ozonation of sewage sludge prior to anaerobic digestion. *Water Science and Technology* Vol 42 No 9 pp 175–178 © IWA Publishing 2000.
- Yasui H., Komatsu K., Goel R., Li Y.Y., Noike T. (2005). Full-scale application of anaerobic digestion process with partial ozonation of digested sludge. *Water Science & Technology* Vol 52 No 1-2 pp 245–252 © IWA Publishing 2005.

## Ringraziamenti

Si ringraziano tutte le persone che a vario titolo hanno permesso l'ottenimento dei risultati del presente lavoro con particolare riferimento alla funzione R&D e al personale tecnico del GRUPPO CAP, al Dipartimento DICA del Politecnico di Milano nella persona della Prof.ssa Arianna Azzellino per il significativo contributo nella elaborazione statistica e dei testisti per le attività correlate alla stesura delle tesi di laurea, e al personale e ai fornitori di SIAD S.p.A.

## Finanziamenti

Il lavoro descritto è stato finanziato dal Progetto PerFORMWATER 2030, ID 240750 (POR FESR 2014-2020 Asse I-Contratti di Ricerca e Innovazione).

# EDITORIA SCOLASTICA E IMPATTI AMBIENTALI: ANALISI DEL CASO ZANICHELLI TRAMITE LA METODOLOGIA LCA

Camilla Tua<sup>1,\*</sup>, Giulia Cavenago<sup>2\*</sup>, Mario Grosso<sup>2\*</sup>, Lucia Rigamonti<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Collaboratrice esterna gruppo di ricerca AWARE

<sup>2</sup>Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Milano.

## Sommario

L'industria dell'editoria scolastica, tradizionalmente basata su copie cartacee, è da tempo indirizzata verso la progressiva digitalizzazione del prodotto. Questo articolo fornisce una valutazione quantitativa degli impatti ambientali associati alla filiera produttiva, distributiva e d'uso del libro scolastico in modalità mista di tipo b commercializzato dal gruppo editoriale Zanichelli. Tale libro si compone di un volume cartaceo di 400 pagine e di un e-book multimediale. Lo studio, effettuato secondo la metodologia di valutazione del ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA), è stato svolto con l'obiettivo di effettuare una prima valutazione dei carichi ambientali del prodotto in esame, in modo da individuare i margini di miglioramento e quindi indirizzare le strategie di sostenibilità ambientale della casa editrice. Particolare attenzione è stata posta sul prodotto digitale, sia perché in espansione, sia perché i carichi ambientali ad esso associati risultano influenzati dalle modalità d'uso dell'utente, differenziandosi fortemente in questo dal libro cartaceo. L'analisi ha incluso tutte le fasi coinvolte nella filiera editoriale, descritta prevalentemente con dati primari del gruppo Zanichelli per l'anno 2019 e ha indagato 15 categorie di impatto ambientale proposte nel metodo

di caratterizzazione *Environmental Footprint* 3.0 raccomandato dalla Commissione Europea. Gli impatti ambientali del libro misto, nello scenario d'uso attuale della componente digitale (visione online/scaricamento su dispositivo personale di un ottavo dell'e-book e sua consultazione per il 5% del tempo di apprendimento), sono principalmente associati al ciclo di vita del libro cartaceo, soprattutto alla produzione di carta vergine per la sua realizzazione. Attualmente le potenzialità dell'e-book sono poco sfruttate e di conseguenza il suo carico ambientale è ridotto. Tuttavia, se l'e-book venisse utilizzato al massimo delle sue potenzialità (visione online/scaricamento di tutto l'e-book e sua consultazione per il 100% del tempo dedicato all'apprendimento della materia), gli impatti complessivi del libro misto di tipo b subirebbero un aumento importante per 15 delle 16 categorie di impatto analizzate, oscillante tra il +17% e il +229% (ad esempio, +59% per le categorie cambiamento climatico e consumo di risorse energetiche non rinnovabili).

**Parole chiave:** *Life Cycle Assessment (LCA), libro, e-book, scuola, digitale*

## ENVIRONMENTAL IMPACTS OF THE EDUCATIONAL BOOK PUBLISHING: THE CASE OF ZANICHELLI

### Abstract

The Italian publishing houses are traditionally based on printed books. However, in the last years, another tool for conveying content and information has been developed with the introduction of digital books (e-books). E-books have the advantage of offering a wide range of digital content

and of avoiding carrying weight, but the "digital cost" is not burden-free in terms of environmental impacts. As of now, the most widespread proposal of the Italian publishing houses to schools is a mixed package (called "type b ministerial book"), including a printed and an e-book. This work has assessed the potential environmental impacts related to the type b ministerial book as commercialised by the Italian company Zanichelli. The average printed book weighs 860 grams, and it is made of 400 pages, while the e-book is composed of the same pages of the printed book

IdA



\*Per contatti: camilla.tua@mail.polimi.it, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano. Tel. 02.23996415

Ricevuto il 29-3-2022; Correzioni richieste il 7-6-2022; Accettazione finale il 22-6-2022.



in digital format plus a variety of videos and interactive exercises. The analysis was performed through the Life Cycle Assessment (LCA) methodology with the main objective of identifying the stages that give rise to the main environmental burdens along the supply chain. Results of the analysis have been used to recommend to the company some improvements to the environmental performance of its product. A particular focus has been dedicated to the e-book life cycle, whose environmental impacts are expected to be highly dependent on usage patterns. In fact, the user might transfer a variable amount of digital information from the data centre (i.e., downloading a certain amount of Gigabyte) during a scholastic year and the time spent on the e-book reading device can range from a few minutes to many hours per year.

Primary data related to the Zanichelli company for the year 2019 were collected as far as possible in order to model the system of the analysed product, otherwise for the background data the ecoinvent database, version 3.7.1 was used. Fifteen midpoint impact indicators of the Environmental Footprint method (version 3.0), recommended by the European Commission, were calculated.

In accordance with the adopted assumptions for the current situation, most of the impacts of the mixed book are associated to the life cycle of the printed book, with a contribution to the total burden higher than 80% in all the analysed impact categories. This result is mainly due to the production of the coated, wood-free, virgin paper in an amount of 1 kilogram per printed book. On the other hand, the impacts associated to the life cycle of the e-book are minor (always lower than 15% of the total impact), since the current usage is very low. In fact, an average user of the e-book accesses only one-eighth of the available digital

material per year and the overall time spent reading the downloaded material is only 5% of the total time dedicated to learning the subject.

However, a sensitivity analysis of the usage patterns of the e-book has been performed and the outcome highlights an important influence of these parameters on the results. In case the e-book is used to a greater extent (i.e., downloading of the full digital content and learning of the subject entirely done on the e-book), the impacts of the mixed book would significantly increase, between + 17% and + 229% depending on the impact category. Most of the impacts of the e-book are associated to the electricity consumption used for both the transfer of the digital material from the data centre to the final user and the use of an electronic reader. Moreover, in some impact categories, also the production of the electronic device resulted in a significant environmental burden, although less of 1% of its production impacts have been allocated to the analysed function of learning.

In the last part of the study, it was analysed how the impacts of school publishing would change if the market moved from the current mixed package (paper book plus the e-book with minimal use) to the product only in the digital version (called ministerial book c in the Italian context). The use of the book type c would reduce the impacts in 12 out of 15 impact categories, while in two impact categories (freshwater eutrophication and depletion of minerals and metals) an evident increment of the environmental burden would be shown.

---

**Keyword:** *life cycle assessment (LCA), printed book, e-book, school, digital information*

---

## 1. Introduzione

La gestione e lo sviluppo dell'insegnamento nel sistema scolastico in Italia devono assicurare una scuola all'altezza delle sfide che attendono le nuove generazioni. In questo contesto, un ruolo particolarmente delicato è assunto dai libri di testo, definiti dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca come "*strumenti importanti, funzionali al conseguimento degli obiettivi didattici e formativi della scuola moderna,*" adottati "*in continuità con la tradizione italiana dell'editoria scolastica*".

Nell'ultimo decennio, in Italia, si è avviata una progressiva digitalizzazione del materiale di apprendimento scolastico tanto che, al momento, il materiale più adottato è rappresentato da libri in modalità mista (anche detti *di tipo b*), che prevedono la vendita contestuale di una copia cartacea e di un e-book multimediale contenente le stesse pagine del cartaceo e altri contenuti digitali integrativi.

Il gruppo editoriale Zanichelli, che produce libri dal

1859, si è recentemente attivato per svolgere una valutazione degli impatti ambientali associati all'intera filiera produttiva, distributiva e d'uso del proprio prodotto scolastico, con lo scopo di rafforzare la propria presa di coscienza sull'impronta ecologica aziendale e di diffondere, al contempo, la consapevolezza dei carichi ambientali del libro scolastico anche tra i consumatori (studenti e insegnanti). A tale proposito, Zanichelli ha realizzato una sezione dedicata sul proprio sito web (Zanichelli editore S.p.A, 2022) in modo che l'analisi non rimanga un'indagine isolata, ma divenga strumento di comunicazione trasparente.

L'analisi si inserisce nella rassegna di studi di letteratura che hanno valutato gli impatti ambientali associati a diverse modalità di lettura di un determinato contenuto editoriale. In relazione ai libri scolastici, sono disponibili due studi recenti (Enroth, 2009; Naicker e Cohen, 2016) che confrontano, per due differenti contesti geografici (la Norvegia e il Sud Africa), l'apprendimento tramite libro cartaceo e digitale (Tabella 1).

**Tabella 1.** Riassunto delle principali caratteristiche degli studi LCA presenti nella letteratura recente in merito all'editoria scolastica.

Fonte di letteratura e contesto geografico	Scenari confrontati e unità funzionale	Categorie di impatto	Principali risultati e conclusioni dello studio
Enroth (2009) - Norvegia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Confronto tra l'uso di materiale scolastico cartaceo e digitale per l'apprendimento da parte di 25.000 studenti. Il materiale è usato 2 ore a settimana per 40 settimane</li> <li>• Un libro cartaceo pesa 0,8 kg ed è riutilizzato per 5 anni (4 t complessive)</li> <li>• La dimensione complessiva del materiale digitale è di 1,5 GB ed è visionato da parte di 25.000 studenti tramite laptop o PC desktop con schermo LCD</li> </ul>	Cambiamento climatico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nel sistema del libro cartaceo gli impatti sono prevalentemente associati alla produzione della carta (50%) e alla successiva fase di stampa (35%)</li> <li>• Nel sistema digitale gli impatti sono prevalentemente associati alla fase di lettura (44%) e alla produzione del PC (38%)</li> <li>• Il sistema digitale presenta impatti maggiori nella categoria di impatto <i>cambiamento climatico</i> rispetto all'uso del prodotto cartaceo (10 volte maggiori quando il contenuto digitale viene visionato su laptop e 30 volte se letto su PC desktop con schermo LCD)</li> </ul>
Naicker e Cohen (2016) – Sud Africa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Confronto tra l'uso di libri cartacei e digitali per l'apprendimento scolastico di 1 studente universitario in un corso di economia per 4 anni (21 libri)</li> <li>• Un libro cartaceo pesa 1,2 kg (25,2 kg complessivi)</li> <li>• La dimensione di un e-book è di 9,18 MB (192,78 MB complessivi) ed è visionato tramite tablet</li> </ul>	18 categorie di impatto dal metodo ReCiPe 1.09 (midpoint hierarchist) e calcolo dell'indicatore Cumulative Energy Demand	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nel sistema del libro cartaceo gli impatti sono prevalentemente associati alla produzione della carta (es. 35% nella categoria di impatto <i>cambiamento climatico</i>) e alla successiva fase di stampa (es. 36% nella categoria di impatto <i>cambiamento climatico</i>)</li> <li>• Nel sistema digitale gli impatti sono prevalentemente associati alla produzione del tablet in Cina e alla fase di lettura da parte dello studente</li> <li>• Il sistema digitale presenta impatti minori in 14 delle 18 categorie di impatto analizzate (nella categoria di impatto <i>cambiamento climatico</i> l'impatto del digitale risulta inferiore di circa il 70%). A tale proposito si sottolinea l'importanza di promuovere il riutilizzo del libro cartaceo tra più utenti</li> </ul>

Entrambi gli studi rivelano come i carichi ambientali di una copia cartacea siano prevalentemente associati alla produzione di carta e alla successiva fase di stampa, mentre quelli dell'e-book siano soprattutto riconducibili alla produzione dell'apparecchio elettronico e alla fase di lettura sul dispositivo stesso. I risultati del confronto tra le due diverse alternative (modalità cartacea e digitale) sono tuttavia contrastanti. Naicker e Cohen (2016) concludono che l'apprendimento digitale presenta prestazioni ambientali migliori rispetto all'uso di un libro cartaceo in 14 delle 18 categorie di impatto definite dal metodo di caratterizzazione *Recipe 1.09*. Enroth (2009) focalizza, invece, l'analisi sul solo cambiamento climatico raccomandando l'uso del cartaceo rispetto all'alternativo sistema digitale, poiché caratterizzato da impatti ambientali inferiori di circa dieci volte quando la lettura dell'e-book avviene su laptop. La sostanziale differenza tra i due studi è riconducibile ai seguenti motivi: i) differente peso del prodotto editoriale cartaceo (il libro di riferimento in Enroth (2009) pesa il 33% in meno); ii) riutilizzo del libro previsto per 5 anni nello studio di Enroth (2009), riuso che non è invece preso in considerazione nell'analisi di Naicker e Cohen (2016); iii) diverso contesto geografico di riferimento, che influenza il mix produttivo di energia utilizzata nella produzione della

carta e per l'alimentazione del dispositivo elettronico nella lettura digitale. Ciò conferma che l'analisi ambientale di prodotti di questo tipo va fatta tenendo conto di assunzioni e confini del sistema comuni. A tale scopo, ad esempio, nell'ambito delle certificazioni di prodotto (EPD®) si seguono delle regole di categoria (Product Category Rules, PCR) al fine di rendere possibile e veritiero il confronto tra prodotti simili.

Rispetto a quanto disponibile nella letteratura sul tema, il presente studio si focalizza su un differente contesto geografico (l'Italia) e il calcolo degli impatti ambientali è stato effettuato con un diverso metodo di caratterizzazione, l'*Environmental Footprint* (versione 3.0; Fazio et al., 2018), recentemente sviluppato dalla Commissione Europea, che ne raccomanda l'uso. Inoltre, a differenza degli studi precedenti che analizzano e confrontano gli impatti del solo libro cartaceo e del solo prodotto digitale, la presente analisi si focalizza sullo studio di un prodotto editoriale misto che prevede la coesistenza di una copia cartacea e di un-book multimediale. La scelta di analizzare questa tipologia di prodotto nasce dalla consapevolezza che, in Italia, la distribuzione di libri in sola copia cartacea è vietata dall'anno scolastico 2014/2015 (Decreto Ministeriale n.781 del 27/09/2013), mentre l'adozione dei libri scolastici in so-

la modalità digitale è oggi accolta da una stretta minoranza di docenti.

Particolare attenzione è stata dedicata al prodotto digitale (e-book) in quanto i carichi ambientali a esso associati sono influenzati dalle modalità d'uso da parte dell'utente, differenziandosi in questo fortemente dal prodotto cartaceo.

## 2. Materiali e metodi

La quantificazione degli impatti ambientali del libro scolastico misto è stata effettuata con la metodologia dell'analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment*, LCA) che ha consentito di prendere in esame l'intera filiera produttiva, distributiva e d'uso del prodotto scolastico misto di tipo b per il gruppo editoriale Zanichelli. Tale metodologia è stata applicata in accordo con i principi e i requisiti indicati dalla normativa tecnica attualmente in vigore, rappresentata dagli standard ISO 14040 e ISO 14044 (ISO 2006a, b) e con il supporto del software SimaPro 9.2.

In accordo con quanto riportato dalle suddette norme ISO, la struttura di una LCA è sintetizzabile in quattro fasi principali: la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione, l'analisi di inventario, la valutazione degli impatti e l'interpretazione dei risultati.

L'applicazione di queste fasi nel caso studiato è descritta nei successivi paragrafi 2.1, 2.2, 2.3 e nel capitolo 3.

### 2.1. Descrizione del prodotto in analisi e obiettivi dello studio

Il presente studio si propone di valutare le prestazioni ambientali di un libro scolastico in modalità mista di tipo b, che il Decreto Ministeriale n.781 (27 Settembre 2013) definisce come “*un libro di testo in versione cartacea e digitale accompagnato da contenuti digitali integrativi*”.

Poiché i libri commercializzati dalla casa editrice sono molteplici, per poter condurre un'analisi semplificata, ma al contempo rappresentativa, il gruppo editoriale Zanichelli ha identificato un prodotto scolastico medio sulla base dei propri dati di vendita. Tale prodotto presenta le seguenti caratteristiche:

- volume cartaceo dal peso di 860 grammi con 400 pagine (200 fogli stampati fronte/retro) di grammatura pari a 70 g/m<sup>2</sup> e una copertina in carta plastificata (grammatura pari a 250 g/m<sup>2</sup>);
- e-book multimediale che contiene tutte le pagine del libro e, in aggiunta, esercizi interattivi, video e animazioni. Per il ciclo di vita dell'e-book, sono stati analizzati più scenari (descritti al paragrafo 2.2.3) per comprenderne la variazione dei carichi ambientali al variare delle modalità d'uso da parte dell'utente.

Lo studio LCA è stato svolto in accordo con i seguenti obiettivi:

- effettuare una prima valutazione dei carichi ambientali del libro scolastico medio Zanichelli, sia in termini di impatti complessivi che di contributi delle diverse fasi, per identificare i processi più critici all'interno della filiera;
- individuare i margini di miglioramento nella filiera e indirizzare quindi le strategie di sostenibilità ambientale del gruppo editoriale;
- valutare la variazione degli impatti ambientali della parte digitale del prodotto esaminato (e-book), all'aumentare del suo utilizzo. Quest'analisi è stata ritenuta utile per comprendere se sia ambientalmente sostenibile promuovere in futuro l'apprendimento in sola modalità digitale rispetto alla situazione attuale mista dell'editoria scolastica.

### 2.2. Definizione del campo di applicazione

#### 2.2.1 Definizione dell'unità funzionale

Nel presente studio l'Unità Funzionale (UF) adottata è *l'apprendimento di una materia nelle scuole secondarie, per un anno scolastico, tramite un libro misto di tipo b, commercializzato dal gruppo editoriale Zanichelli*. In tale anno scolastico si suppone che l'utente consulti il libro, tra versione cartacea e digitale, per 60 ore/anno in accordo con le seguenti ipotesi:

- uno studente medio di scuola secondaria in Italia studia 2,5 h/giorno (sondaggio su 5.000 partecipanti nel 2018 disponibile al seguente sito: <https://www.ripetizioni.it/blog/quante-ore-studioano-gli-studenti/>; Skuola Network s.r.l., 2018), per 6 giorni alla settimana e per 35 settimane scolastiche. Il tempo complessivo di apprendimento è quindi di 525 ore/anno, ritenuto valido anche per la preparazione di un docente;
- il numero di libri consultati in un anno da un utente è pari a 9, calcolato come media pesata tra il numero medio di libri degli studenti (10 libri/pro-capite), che acquistano l'86% delle copie vendute, e il numero medio di libri dei docenti (2 libri/pro-capite), che entrano in possesso del rimanente 14% delle copie.

#### 2.2.2. Definizione dei confini del sistema

La filiera editoriale Zanichelli prevede innanzitutto la creazione del prototipo del libro scolastico, che avviene digitalmente a partire dalle idee degli autori.

Una volta realizzato il prototipo, il ciclo di vita del libro cartaceo inizia all'interno della cartiera dove viene prodotta la carta patinata vergine e prosegue presso l'azienda grafica che si occupa della stampa e della legatura del libro. Il processo di stampa adottato è di tipo off-set, opportunamente ripartito tra stampa piana

(67% delle copie vendute nel 2019) e stampa rotativa (33%). La legatura è invece generalmente effettuata in brossura cucita.

Il prodotto editoriale finito viene consegnato alla casa editrice che lo stocca all'interno dei propri magazzini e da qui viene recapitato, attraverso appositi sistemi di logistica, ai distributori e ai clienti finali (studenti e docenti).

La logistica distributiva è legata alle attività peculiari del settore scolastico:

- fase di propaganda e adozione, effettuata nei mesi da gennaio a maggio, nella quale si presentano i testi ai docenti con lo scopo di ottenerne l'adozione per le proprie classi (queste copie date ai docenti prendono il nome di "copie saggio"). La logistica si incarica di spedire i volumi adottati dal magazzino centrale verso le filiali e le agenzie di propaganda regionali; da qui una rete di agenti consegna le copie presso i plessi scolastici con i propri veicoli;
- fase di vendita agli studenti, da maggio fino a ottobre, che prevede la rifornitura dei libri ai punti di distribuzione (Grande Distribuzione Organizzata – GDO, magazzini Amazon e singole librerie), presso i quali avviene il ritiro da parte del cliente o dai quali è effettuata la consegna a domicilio.

La copia cartacea viene quindi utilizzata dallo studente o dal docente e, al termine della vita utile, conferita nel rifiuto urbano.

Nella filiera del libro digitale è invece prevista la creazione dell'e-book, a partire dai file PDF e multimediali del prototipo e del relativo sito, lo stoccaggio su data center, il trasferimento del prodotto per via digitale dai data center all'utente e successivamente la sua consultazione tramite un dispositivo elettronico (secondo modalità offline dopo lo scaricamento oppure in modalità on-line).

La Figura 1 riporta i confini del sistema Zanichelli, che è stato modellizzato includendo tutte le fasi indicate eccetto quelle tratteggiate, ossia:

- la consegna del file digitale del prototipo all'ufficio produzione e alla divisione media digitali;
- la richiesta di elementi accessori usati durante la fase di studio sia sul cartaceo che sul digitale (luce, sedia, tavolo, evidenziatore, ...), che vengono utilizzati anche per altre funzioni o con impatto irrisorio;
- lo stoccaggio dell'e-book su data center (costruzione dell'infrastruttura, consumo di energia elettrica per lo stoccaggio e di acqua per il raffrescamento), escluso per la mancanza di dati sufficientemente rappresentativi.

Si sottolinea inoltre che nella modellizzazione dei processi di fine vita del libro cartaceo e di tutti i

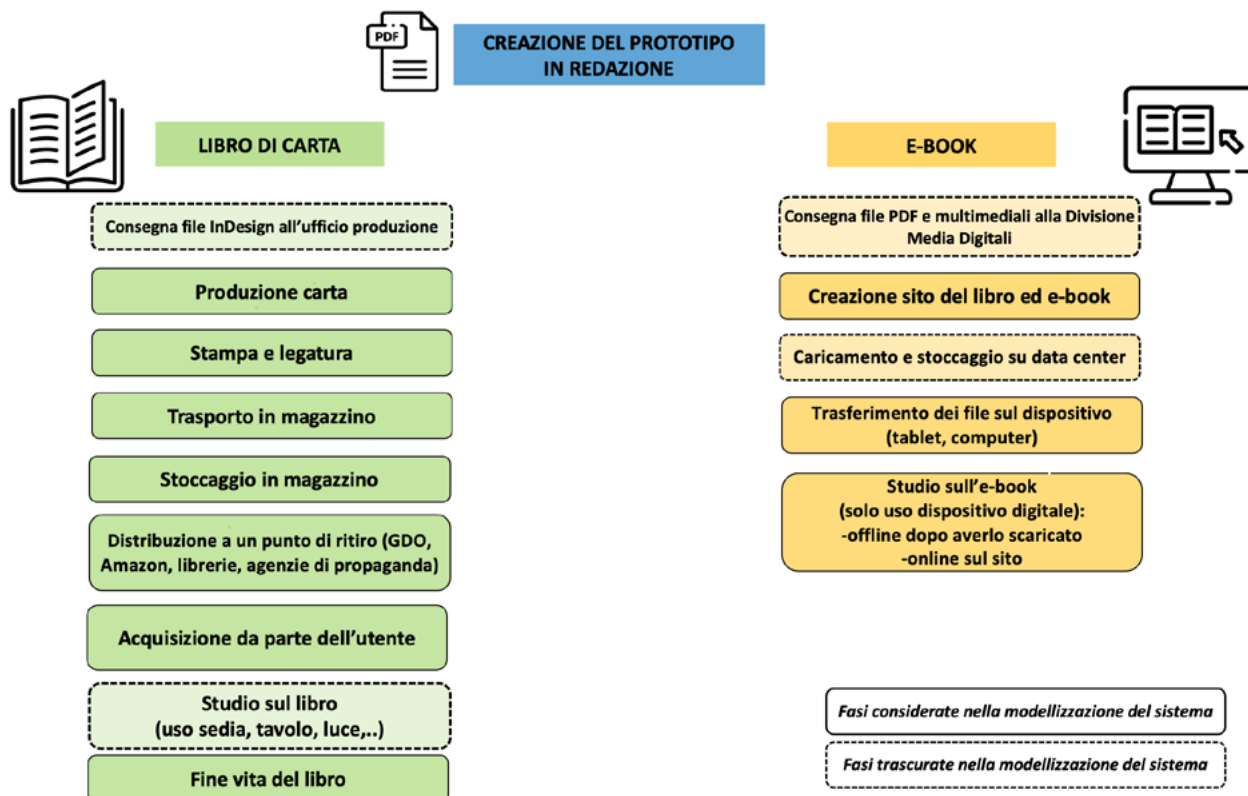
rifiuti solidi generati lungo l'intera filiera è stato seguito l'approccio proposto dal Sistema Internazionale Environmental Product Declaration (EPD®) coerentemente con le relative *General Programme Instructions* (2019). L'analisi dei processi di fine vita è stata quindi impostata come segue:

- per la quota parte di libro/altri rifiuti destinati a riciclo a fine vita, alla filiera Zanichelli si associano solo gli impatti relativi alla raccolta del rifiuto e al suo conferimento al primo impianto di selezione; non vengono quindi inclusi né i carichi ambientali del processo di riciclo, né i benefici dello stesso, legati al risparmio di materie prime vergini e di energia, da associare alla filiera che utilizzerà la materia prima secondaria per un nuovo uso;
- per la quota parte di libro/altri rifiuti destinati a incenerimento a fine vita, si conteggiano nella filiera i carichi ambientali del processo di combustione, mentre sono esclusi i carichi e i benefici ambientali associati al recupero di energia elettrica e termica dalla combustione, così come quelli derivanti dall'eventuale recupero di materiali dai residui solidi (ad esempio la frazione minerale dalle scorie);
- i carichi ambientali della quota parte di libro/altri rifiuti destinati allo smaltimento in discarica sono tutti associati al sistema che li ha generati (filiera Zanichelli).

### 2.2.3. Scenario base analizzato e analisi di sensibilità

Il presente studio analizza le prestazioni del ciclo di vita di un libro medio scolastico Zanichelli. In relazione alla fase d'uso, si ipotizza che il libro venga visionato complessivamente per 60 ore/anno tra copia cartacea e digitale. Il ciclo di vita della copia cartacea prevede impatti fissi indipendenti dalle modalità di utilizzo dell'utente (è stato trascurato l'uso di luce, tavolo e altri elementi accessori); lo stesso non si può invece dire per l'apprendimento su digitale, per il quale l'impatto è influenzato dalla quantità di materiale digitale trasferita all'utente (in termini di Gigabyte) e dal numero di ore di apprendimento svolte su dispositivo elettronico (tablet o personal computer).

Nella situazione attuale, presa come riferimento per lo scenario base, l'apprendimento su digitale è un'opzione poco praticata, in quanto un utente medio Zanichelli consulta solo un ottavo del materiale caricato su data center (0,16 GB/anno/libro) dedicandovi il 5% del tempo complessivo di studio, ossia 3 ore/anno (ipotesi dello studio definite in accordo con il gruppo editoriale, dopo un'analisi dei dati primari sull'uso dell'e-book da parte degli utenti iscritti al sito Zanichelli).



**Figura 1.** Confini del sistema per la filiera produttiva, distributiva e d'uso del libro ministeriale di tipo b del gruppo editoriale Zanichelli.

In un'analisi di sensibilità dedicata è stata analizzata la variazione degli impatti del libro Zanichelli misto di tipo b nel caso in cui l'opzione digitale venga sfruttata al massimo delle sue potenzialità, ossia l'utente preveda il trasferimento di tutto il materiale digitale (1,28 GB/anno/libro) studiando esclusivamente su dispositivo elettronico (60 ore/anno), pur avendo a disposizione una copia cartacea. Questo tipo di approccio ha consentito di valutare gli impatti minimi e massimi del libro misto di tipo b al variare delle condizioni di utilizzo dell'e-book.

Infine, nello studio è stato effettuato un confronto tra gli impatti ambientali del ciclo di vita del libro ministeriale di tipo b nello scenario d'uso attuale e quelli del ciclo di vita del libro ministeriale di tipo c, libro di testo in sola versione digitale accompagnato da contenuti

digitali integrativi (Decreto Ministeriale n. 781, 2013). Anche in questo confronto l'unità funzionale adottata risulta l'apprendimento di una materia su un libro scolastico per un anno (60 ore/anno) da parte di un utente.

La Tabella 2 riassume i tre scenari descritti.

#### 2.2.4. Indicatori ambientali analizzati

Per la valutazione, sono state considerate 15 categorie di impatto, così ripartite:

- otto categorie di impatto sull'ambiente naturale: Cambiamento Climatico (CC), Assottigliamento dello strato di Ozono (AO), Formazione di Ozono fotochimico (FO), Eutrofizzazione in acqua Dolce (ED), Eutrofizzazione Marina (EM), Eutrofizzazione Terrestre (ET), Acidificazione (A), ECotossicità delle acque dolci (EC);

**Tabella 2.** Scenari analizzati nello studio per il libro misto di tipo b e digitale di tipo c in relazione alle diverse modalità d'uso dell'e-book.

Scenario	Copia cartacea	Modalità d'uso del digitale	
		GB/anno/libro	Ore di studio
Libro misto di tipo b – scenario attuale	400 pagine; 860 grammi	0,16	3 h/anno (5% apprendimento)
Libro misto di tipo b – scenario di uso estremo digitale (sensibilità)	400 pagine; 860 grammi	1,28	60 h/anno (100% apprendimento)
Libro digitale di tipo c	Non presente	1,28	60 h/anno (100% apprendimento)

- tre categorie di impatto sulla salute umana: Assunzione di materiale Particolato (AP), Tossicità Umana Non Cancerogena ( $TU_{NC}$ ) e Tossicità Umana Cancerogena ( $TU_C$ );
- quattro categorie di impatto sull'esaurimento di risorse: Consumo di Suolo (CS), Consumo di risorse idriche (CA), Consumo di Risorse Energetiche non rinnovabili ( $CR_E$ ) e Consumo di Risorse, Minerali e Metalli ( $CR_M$ ).

Gli indicatori associati a queste categorie di impatto e i relativi modelli di caratterizzazione utilizzati per il loro calcolo sono quelli proposti nel metodo *Environmental Footprint* (EF), versione 3.0 recentemente sviluppato per la Commissione Europea dal Joint Research Centre (Fazio et al., 2018).

### 2.3. Analisi di inventario

Nei paragrafi che seguono si riportano i dati di inventario associati alle principali fasi coinvolte nel sistema. La filiera Zanichelli in analisi (in termini tecnici definita come *foreground system*) è stata prevalentemente descritta con dati primari raccolti presso le tre case editrici del gruppo (Zanichelli, Istituto Italiano Edizioni Atlas e Loescher Editore) nell'anno 2019, considerando le rispettive percentuali di mercato. Laddove non fosse disponibili informazioni dirette, sono stati consultati studi di letteratura recenti e relativi al contesto italiano ed europeo. I processi di *background* (produzione di energia elettrica, produzione degli imballaggi, ...) sono stati modellizzati invece in accordo con specifici dataset della banca dati LCA internazionale ecoinvent (versione 3.7.1). La scelta dei dataset è stata effettuata considerando, in ordine di priorità, il contesto geografico italiano/europeo/svizzero/mondiale.

#### 2.3.1. Creazione del prototipo

Per la creazione del prototipo in redazione sono stati considerati il consumo di elettricità (0,41 Wh/libro) e il consumo di carta (4,3 grammi/libro), in accordo con i dati primari riferiti alle redazioni delle tre case editrici del gruppo Zanichelli (consumo annuale complessivo di carta/elettricità associato al dipartimento *redazione* delle tre case editrici diviso per il numero di copie vendute di prototipi realizzati dallo stesso dipartimento).

In relazione alla richiesta di energia elettrica, si segnala che il consumo è sovrastimato poiché include non solo il consumo elettrico dei computer e dei dispositivi accessori necessari per l'effettiva elaborazione del prototipo, ma anche i consumi energetici associati alla manodopera (consumo di aria condizionata, di luce, ecc.), solitamente non inclusi in un'analisi LCA di prodotto. Non è stato tuttavia possibile effettuare una separazione di tale contributo.

Per quanto concerne il consumo di carta, è stata inclusa la produzione di carta da stampa d'ufficio vergine, la fase di stampa delle bozze tramite stampante laser e il fine vita dei fogli dopo l'uso secondo le modalità tipiche di gestione degli imballaggi cellulosici nel contesto medio italiano (87,3% riciclo, 7,5% recupero energetico e 5,2% discarica; Comieco, 2021).

#### 2.3.2. Ciclo di vita del libro cartaceo

##### *Realizzazione del libro cartaceo*

La realizzazione del libro cartaceo prevede innanzitutto una prima fase di produzione della carta per le pagine interne e per la copertina e successivamente una fase di stampa (piana nel 67% dei casi e rotativa nel rimanente 33%) che si conclude con la legatura del prodotto.

La modellizzazione delle due fasi è avvenuta con dati di inventario primari (Tabella 3), raccolti presso due aziende grafiche (una per la stampa piana e una per la rotativa). Tali aziende rappresentano il 35% delle copie complessivamente stampate da Zanichelli nel 2019.

In relazione alla produzione di carta, un libro cartaceo medio Zanichelli a uso scolastico richiede mediamente 1,02 kg di carta (Tabella 3), valore inclusivo degli scarti del processo di stampa e legatura e della carta necessaria per la copertina. La carta richiesta è di tipologia patinata, vergine in quanto la carta riciclata presenta delle problematiche a livello cromatico, non consentendo di ottenere una visione ottimale delle immagini.

Non essendo stato possibile acquisire informazioni dirette dalle cartiere fornitrici del gruppo Zanichelli, il processo produttivo della carta indicata è stato modellizzato in accordo con dati di letteratura relativi a una cartiera non integrata media europea (Suhr et al., 2015).

##### *Trasporto del libro al magazzino e relativo stoccaggio*

Elaborando i dati primari delle tre case editrici, la distanza media di trasporto del prodotto editoriale dalla stamperia/legatoria al magazzino risulta di 115 km. Il 17% dei chilometri è stato percorso con mezzi di piccola taglia (di capacità 3.5-7.5t), trattandosi di viaggi di percorrenza inferiore ai 20 km, mentre il rimanente 83% con autocarri di grandi dimensioni (capacità superiore a 32t). Il mix Euro adottato per i mezzi indicati è quello medio nazionale riportato da Automobile Club D'Italia per l'anno 2019 (ACI, 2020).

Per la successiva fase di stoccaggio in magazzino, sono stati acquisiti dati primari dai due magazzini centrali del gruppo editoriale. In accordo con le informazioni acquisite, il processo comporta i seguenti carichi ambientali calcolati rapportando i consumi complessivi

**Tabella 3.** Dati di inventario associati alla produzione di 1 kg di libro cartaceo finito per il processo di stampa piana e per quello di stampa rotativa, in accordo con le informazioni acquisite da due aziende grafiche. La terza colonna in tabella riporta il valore adottato nello studio per la produzione di 1 libro Zanichelli (860 grammi).

Consumo di materiali	Valori per 1 kg di libro rilegato		Valori per libro medio Zanichelli (860 g)
	Piana (67%)	Rotativa (33%)	
Carta patinata vergine (pagine + copertina) *	1,22 kg 414 km su strada**	1,13 kg 1249 km su strada	1,02 kg 689 km su strada
Inchiostro	6,23 g 300 km su strada***	2,49 g 720 km su strada	4,30 g 439 km su strada
Solventi lavaggio (a base di idrocarburi)	1,24 g 300 km su strada	0,25 g 250 km su strada	0,79 g 284 km su strada
Vernice acrilica	2,74 g 300 km su strada	Non previsto	1,58 g 201 km su strada
Silicone (polidimetilsilossano)	Non previsto	0,31 g 600 km su strada	0,10 g 198 km su strada
Lastre di alluminio vergine	11,2 g 100 km su strada 10.000 km via nave	0,28 g 100 km su strada 10.000 km via nave	6,53 g 100 km su strada 10.000 km via nave
Filo (70% poliestere e 30% cotone)	148,07 mg 825 km su strada	15,37 mg 100 km su strada	89,68 586 km su strada
Colla (etilene vinil acetato)	3,04 g 1290 km su strada	Non previsto	1,75 g 864 km su strada
Consumi energetici ed idrici	Piana (67%)	Rotativa (33%)	Valori per libro medio Zanichelli (860 g)
Elettricità	540,78 Wh (21% da impianto fotovoltaico proprietario, 79% da rete)	37,93 Wh (100% da rete)	322,36 Wh (20% impianto fotovoltaico proprietario, 80% da rete)
Gas metano	Non previsto	3,93 litri	1,12 litri
Acqua da pozzo	0,59 litri	1,96 litri	0,90 litri
Rifiuti	Piana (67%)	Rotativa (33%)	Valori per libro medio Zanichelli (860 g)
Imballaggi e rifiuti assimilabili a urbani	251,11 g – riciclo 1,48 g – incenerimento	142,41 g – riciclo 0,23 g – incenerimento	185,11 g – riciclo 0,92 g – incenerimento
Scarti di inchiostro non pericolosi	1,20 g – incenerimento	Non previsto	0,69 g – incenerimento
Rifiuti pericolosi (scarti di inchiostro e solventi)	4,83 g – incenerimento	1,06 g – incenerimento	3,08 g – incenerimento
Acque reflue	0,59 litri	1,30 litri	0,71 litri

\* La copertina è plastificata per mezzo di un film in polipropilene bi-orientato dal peso irrisorio (2,5 g/copertina).

\*\* L'approvvigionamento di carta si ipotizza avvenga con autocarri di medie dimensioni (16-32 t), secondo il mix Euro nazionale dell'anno 2019 (fornito da Automobile Club d'Italia, 2020).

\*\*\* Il trasporto dell'inchiostro e di tutti gli altri materiali si ipotizza avvenire con un veicolo commerciale leggero.

sivi annuali del magazzino al numero di copie di testi scolastici distribuiti dallo stesso magazzino nel medesimo anno (valori medi dei due stabilimenti):

- un consumo di energia elettrica dalla rete nazionale pari a 36 Wh/libro;
- la produzione e l'approvvigionamento di imballaggi in cartone (scatole, carton-pallet e pacchi) in quantità pari a 7,6 grammi/libro. Tali imballaggi in cartone sono depositati su bancali di legno, il cui peso allocato al singolo libro è trascurabile (1,1 g/libro) in quanto il calcolo tiene conto del fatto che i bancali sono riutilizzati mediamente per 20 volte (Conai, 2017);

- la generazione di rifiuti assimilabili agli urbani, rappresentati da rifiuti in carta (44 g/libro), imballaggi in legno (0,9 g/libro) e imballaggi in materiale misto (3,7 g/libro). Tali rifiuti sono tutti inviati a un vicino impianto di riciclo (entro i 30 km), eccetto per gli imballaggi in materiale misto il cui destino finale è l'incenerimento (46 km).

#### *Distribuzione al cliente finale*

La distribuzione del libro al cliente finale si ripartisce tra la fase di propaganda ai docenti, effettuata per il 14% delle copie, e la fase di vendita, svolta per l'86%

delle copie, quelle destinate agli studenti. In entrambe le modalità di distribuzione è previsto un primo trasporto dei libri con mezzi pesanti dal magazzino centrale ai punti di ritiro che, nel caso della propaganda sono le filiali e le agenzie regionali, mentre nel caso della vendita i singoli punti della GDO, i magazzini Amazon e le librerie.

Successivamente è prevista la consegna all'utente o un suo ritiro. Nella propaganda, le copie saggio sono distribuite tramite un giro di consegna degli agenti con auto presso i singoli plessi scolastici. Per gli studenti è previsto invece il ritiro presso le librerie e i punti vendita della GDO oppure la consegna a domicilio tramite corrieri Amazon.

Tutte le fasi di trasporto in elenco sono state modellizzate con dati di percorrenza primari delle tre case editrici (Tabella 4). La sola eccezione è rappresentata dalla fase di ritiro/consegna del libro allo studente, per cui è stato consultato il recente studio del Politecnico di Milano sulla sostenibilità nell'e-commerce (2019) in Italia, che fornisce dati medi in merito alle modalità di acquisto offline e online per alcuni prodotti inclusi quelli editoriali (Tabella 4).

#### *Fine vita del libro cartaceo*

Dopo la fase d'uso del libro (esclusa dai confini del sistema) è stato modellizzato il suo conferimento nella raccolta domestica del rifiuto e il successivo trattamento coerentemente con l'attuale modalità di gestione dei rifiuti da imballaggio cellulose in Italia (Comieco, 2021): 87,3% riciclo, 7,5% recupero di energia e 5,2% smaltimento in discarica. Nell'analisi non è stato valutato il caso in cui il prodotto venga riutilizzato da un altro utente prima di essere inviato a fine vita.

### 2.3.3. Ciclo di vita dell'e-book

#### *Produzione dell'e-book e del relativo sito*

La fase di produzione di un libro digitale consiste nella creazione dell'e-book e del relativo sito a partire dai file PDF e dai contenuti multimediali forniti dalla redazione. Per tale fase è stato conteggiato il consumo di energia elettrica (11 Wh/libro) richiesto dal dipartimento competente della casa editrice Zanichelli.

#### *Trasferimento del materiale digitale all'utente*

Il gruppo Zanichelli ha costruito la sua struttura digitale completamente in cloud, appoggiandosi a data center in Irlanda e in Germania. Il dato di consumo elettrico adottato per il trasferimento del materiale dai data center all'utente deriva da uno studio di letteratura (Malmodin et al., 2014), riferito al contesto svedese e utilizzato per la valutazione degli impatti ambientali del libro digitale anche in altri lavori sul tema (ad esempio Achachlouei et al., 2015). Come visibile in Tabella 5, tale studio fornisce il consumo elettrico per Gigabyte (GB) trasferito (1,48 kWh/GB), suddiviso tra: richiamo dati dai data center, trasporto su scala geografica, trasporto via rete di accesso e funzionamento delle apparecchiature presso l'utente (modem e router). A ciascuna fase in elenco è stato associato uno specifico mix elettrico sulla base della localizzazione geografica dei data center (50% in Irlanda e 50% in Germania) e dell'utente (Italia).

In accordo con tali consumi specifici, lo scenario base, che prevede il trasferimento di 0,16 GB/anno/libro (Tabella 2), comporta un consumo annuale complessivo di trasferimento di 240 Wh/anno/libro, mentre lo scenario di sensibilità e di solo uso del digitale comportano un consumo di 1,89 kWh/anno/libro (trasferimento di 1,28 GB).

**Tabella 4.** Percorrenza media e modalità di trasporto per le singole fasi coinvolte nella distribuzione del libro scolastico Zanichelli in fase di propaganda e di vendita.

	Trasporto magazzino – punto di ritiro	Trasporto punto di ritiro-utente
Distribuzione al docente (14%)	Distanza magazzino – filiali/agenzie regionali: 527 km Mezzi: autocarri > 32t, mix Euro nazionale (ACI, 2020)	Distanza giro di consegna agenti: 2,65 km/libro Mezzi: automobile. Agenti interni Zanichelli (51% dei viaggi): 9% auto ibrida e 91% auto diesel Euro 5; Agenti esterni: mix veicolare non noto, assunto quello di riferimento nazionale (ACI, 2020)
Distribuzione allo studente (86%)	Distanza magazzino – punti di consegna (punti vendita GDO, magazzini Amazon, librerie): 497 km Mezzi: autocarri > 32t, mix Euro nazionale (ACI, 2020)	Librerie (49%): viaggio di 6 km (complessivo di andata e ritorno), per l'acquisto di 5 libri scolastici (metà dei libri di uno studente per un anno scolastico). L'85% degli utenti effettua un viaggio con automobile secondo il mix veicolare nazionale, il 15% a piedi (The International EPD® System, 2017)
		GDO (30%): stesse ipotesi del ritiro in libreria ma in questo caso il viaggio è allocato su 2 funzioni (fare la spesa e ritirare i libri)
		Amazon: consegna tramite furgoncino, per una percorrenza di 2,6 km/ordine



**Tabella 5.** Consumo specifico di energia elettrica per la fase di trasferimento del materiale dai data center all'utente (Malmodin et al., 2014) e indicazione del mix elettrico adottato nelle diverse fasi coinvolte.

Fase analizzata	Consumo specifico (kWh/GB)	Mix elettrico
Richiamo dati dal data center	1	50% mix medio Germania, 25% mix medio Irlanda, 25% impianto eolico in Irlanda*
Rete di trasporto	0,1	Mix medio Europa
Rete di accesso	0,08	Mix medio Italia
Apparecchiature utente (router e modem)	0,3	

\* Il fornitore del servizio afferma che 50% dell'energia richiesta dal proprio data center in Irlanda è prodotta tramite un impianto eolico proprietario.

### Apprendimento sull'e-book

In accordo con i dati primari acquisiti, l'apprendimento di un utente medio Zanichelli avviene per il 61% dei casi tramite tablet e nel rimanente 39% attraverso Personal Computer (PC). L'uso del PC è stato ripartito tra laptop (27%) e computer fisso (12%), in accordo con dati nazionali relativi alla presenza di tali dispositivi nelle case degli italiani (Il Sole 24 Ore, 2018).

Come visibile in Figura 2, per modellizzare l'impatto di questa fase è stato innanzitutto valutato, tramite amperometro, il consumo medio orario di elettricità del dispositivo elettronico che risulta di 17 Wh (media pesata sulle tre tipologie). Di conseguenza lo scenario base prevede un consumo elettrico per l'apprendimento di 51 Wh/anno (3 ore/anno di studio su dispositivo elettronico; Tabella 2), mentre nello scenario di sensibilità e di solo uso del digitale il consumo è di 1 kWh/anno (60 ore/anno di studio).

È stata poi inclusa la fase di produzione dell'apparecchio, considerando che il dispositivo, nell'arco della sua vita utile, non viene acquistato solamente per l'apprendimento scolastico, ma anche per altre funzioni. In particolare, la formula adottata per il calcolo

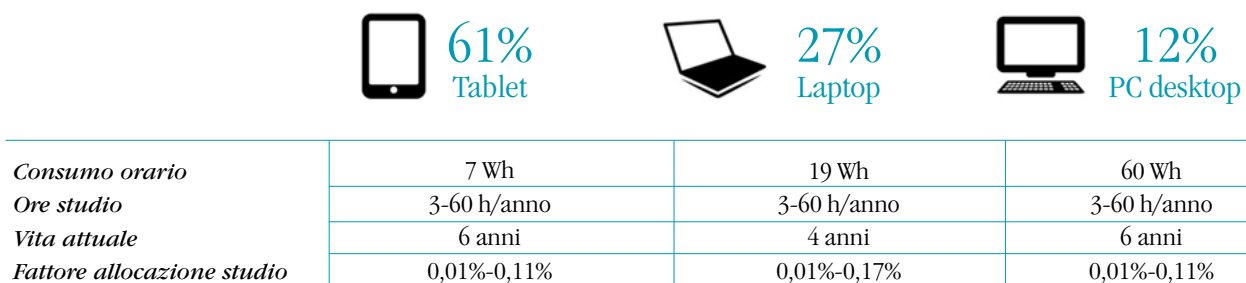
del carico ambientale di ciascun dispositivo per la sola funzione di studio è la seguente [1]:

$$\text{Impatto allocato} = \text{Impatto totale} \times \left[ \frac{\text{Ore annuali di apprendimento su libro scolastico di tipo } b}{\text{Vita utile dispositivo} \times 365 \frac{\text{giorni}}{\text{anno}} \times 24 \frac{\text{ore}}{\text{giorno}}} \right] \quad [1]$$

Nell'applicazione di tale formula sono state utilizzate le statistiche 2021 relative alla vita utile di ciascun dispositivo elettronico fornite da un portale web tedesco (Statista, 2021 a,b,c). I dati di inventario associati alla produzione di ciascun dispositivo (estrazione delle materie prime, relativa lavorazione e assemblaggio) e al suo trasporto in Italia sono derivati dalla banca dati ecoinvent, facendo riferimento alla versione 3.8 che ha previsto un significativo aggiornamento dei dataset relativi alla produzione dei prodotti elettronici (Moreno et al., 2021).

### 3. Risultati e discussione

I risultati dell'analisi sono riportati in Tabella 6 sia per i due scenari associati al libro misto Zanichelli di tipo b (scenario base e di sensibilità) che per il libro in



**Figura 2.** Caratteristiche del dispositivo elettronico utilizzato per l'apprendimento su un e-book scolastico in termini di consumi elettrici e di vita utile. Le ore di studio sul dispositivo sono pari a 3 ore/anno per lo scenario base (situazione attuale) e a 60 ore/anno per lo scenario di sensibilità e di solo uso del digitale. Nota: il fattore di allocazione rappresenta la percentuale di utilizzo del dispositivo elettronico per l'apprendimento di una materia scolastica in un anno rispetto all'intera vita del dispositivo stesso ed è calcolato come: (ore annuali di apprendimento su libro) / (vita utile dispositivo × 365 giorni/anno × 24 ore/giorno) come già indicato nella formula [1].

sola modalità digitale – tipo c. Gli impatti degli ultimi due scenari sono stati confrontati in termini di variazione percentuale con lo scenario base che descrive la situazione attuale d'uso del prodotto Zanichelli. In tale confronto, variazioni di impatto inferiori al 10% sono state ritenute non significative per tenere conto di possibili incertezze legate alla modellizzazione del sistema di riferimento.

### 3.1. Risultati scenario base (situazione attuale)

La Figura 3 riporta l'analisi dei contributi per il libro misto di tipo b (copia cartacea più e-book) nelle condizioni d'uso attuali.

Dal grafico emerge innanzitutto che gli impatti ambientali del prodotto misto sono dominati dal ciclo di vita del libro cartaceo, con un contributo percentuale all'impatto totale superiore al 78% in tutte le categorie analizzate.

In particolare, si segnala un contributo compreso tra il 37% (categoria di impatto *assottigliamento dello strato di ozono* – AO) e il 95% (categoria di impatto *consumo di suolo* – CS) dell'impatto complessivo del libro misto associato alla fase di produzione della carta, la cui richiesta si attesta intorno a 1 kg per copia cartacea (valore inclusivo degli scarti del processo

di stampa e di legatura, oltre che della richiesta per la copertina). Al momento il libro scolastico necessita di carta patinata, 100% vergine, realizzata tramite un processo produttivo che, secondo i dati medi europei (Suhr et al., 2015), è impattante principalmente per i consumi energetici (2,9 kWh/libro), per il consumo di reagenti chimici (0,6 kg/libro) e per la richiesta di materia prima legnosa (questo ultimo aspetto solo per l'indicatore *consumo di suolo* – CS).

Per quattro categorie di impatto (*assottigliamento dello strato di ozono* – AO, *formazione di ozono fotochimico* – FO e *tossicità umana cancerogena* – TU<sub>C</sub> e *non cancerogena* – TU<sub>NC</sub>), si rileva anche un contributo superiore al 20% del carico ambientale del libro misto associato al processo di stampa e di legatura della copia cartacea per i seguenti motivi:

- consumo di silicone (polidimetilsilossano), richiesto nel processo di stampa rotativa (categoria di impatto AO);
- fase di approvvigionamento della carta, reperita a circa 700 km di distanza (categoria di impatto FO);
- produzione delle lastre di stampa realizzate in alluminio primario (categorie di impatto TU<sub>C</sub> e TU<sub>NC</sub>).

Anche il carico ambientale della fase di distribuzione fisica della copia cartacea merita considerazione nella categoria di impatto *consumo di risorse, mine-*

**Tabella 6.** Impatti ambientali dei due scenari (base e di sensibilità) associati al libro misto Zanichelli di tipo b e dello scenario del libro in sola modalità digitale tipo c. La tabella riporta anche la variazione di impatto tra lo scenario di sensibilità (s) e di solo digitale (d) rispetto allo scenario base calcolata come: (IMPATTO scenario s/d – IMPATTO scenario base) / IMPATTO scenario base) \* 100. Variazioni di impatto inferiori al 10% sono ritenute non significative.

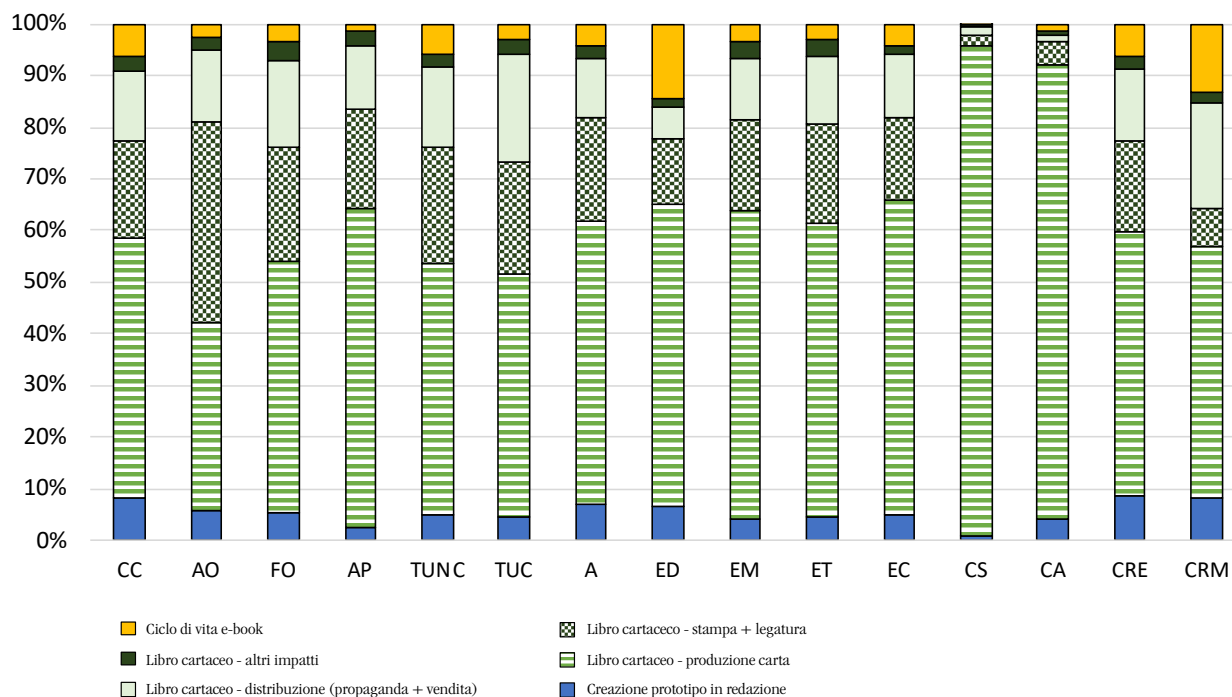
Categoria di impatto	Unità di misura	IMPATTI LIBRO b		IMPATTI LIBRO c
		Scenario base (attuale)	Scenario sensibilità (uso estremo digitale)	
CC*	kg CO <sub>2</sub> eq.	2,23	3,55 (+59%)	1,64 (-26%)
AO	kg CFC-11 eq.	4,17×10 <sup>-7</sup>	5,33×10 <sup>-7</sup> (+28%)	1,51×10 <sup>-7</sup> (-64%)
FO	kg COVMN eq.	7,77×10 <sup>-3</sup>	1,06×10 <sup>-2</sup> (+36%)	3,50×10 <sup>-3</sup> (-55%)
AP	Incidenza di malattia	1,39×10 <sup>-7</sup>	1,66×10 <sup>-7</sup> (+19%)	3,28×10 <sup>-8</sup> (-76%)
TU <sub>NC</sub>	CTUh	2,69×10 <sup>-8</sup>	4,92×10 <sup>-8</sup> (+82%)	2,52×10 <sup>-8</sup> (-6%)
TU <sub>C</sub>	CTUh	1,48×10 <sup>-9</sup>	2,05×10 <sup>-9</sup> (+39%)	6,86×10 <sup>-10</sup> (-54%)
A	moli H <sup>+</sup> eq.	0,01	0,02 (+46%)	6,72×10 <sup>-3</sup> (-43%)
ED	kg P eq.	6,90×10 <sup>-4</sup>	1,57×10 <sup>-3</sup> (+127%)	1,02×10 <sup>-3</sup> (+49%)
EM	kg N eq.	3,24×10 <sup>-3</sup>	4,48×10 <sup>-3</sup> (+38%)	1,48×10 <sup>-3</sup> (-54%)
ET	moli N eq.	0,03	0,04 (+34%)	1,30×10 <sup>-2</sup> (-58%)
EC	CTUe	45,86	70,00 (+53%)	28,34 (-38%)
CS	Pt	143,35	147,78 (+3%)	6,13 (-96%)
CA	m <sup>3</sup> acqua	2,31	2,71 (+17%)	5,33×10 <sup>-1</sup> (-77%)
CR <sub>E</sub>	MJ	31,54	50,16 (+59%)	23,31 (-26%)
CR <sub>M</sub>	kg Sb eq.	1,98×10 <sup>-5</sup>	6,51×10 <sup>-5</sup> (+229%)	4,96×10 <sup>-5</sup> (+150%)

\* CC=cambiamento climatico; AO=assottigliamento dello strato di ozono; FO=formazione di ozono fotochimico;

AP=assunzione di materiale particolato; TU=tossicità umana; A=acidificazione; ED=eutrofizzazione in acqua dolce;

EM=eutrofizzazione marina; ET=eutrofizzazione terrestre; EC=ecotossicità delle acque dolci; CS=consumo di suolo;

CA=consumo di risorse idriche; CR<sub>E</sub>=consumo di risorse energetiche non rinnovabili; CR<sub>M</sub>=consumo di risorse, minerali e metalli.



**Figura 3.** Analisi dei contributi delle principali fasi del ciclo di vita di un libro misto di tipo b Zanichelli in accordo con le attuali modalità d'uso (scenario base). Legenda: CC=cambiamento climatico; AO=assottigliamento dello strato di ozono; FO=formazione di ozono fotochimico; AP=assunzione di particolato;  $TU_{NC}$ =tossicità umana non cancerogena;  $TU_C$ =tossicità umana cancerogena; A=acidificazione; ED=eutrofizzazione in acqua dolce; EM=eutrofizzazione marina; ET=eutrofizzazione terrestre; EC=ecotossicità acquatica; CS=consumo di suolo; CA=consumo di risorse idriche;  $CR_E$ =consumo di risorse energetiche non rinnovabili;  $CR_M$ =consumo di risorse, minerali e metalli. Tale legenda è valida anche per le Figure 4 e 5.

*rali e metalli* (contributo del 20,5% rispetto all'impatto totale del libro misto).

Contrariamente a quanto detto sopra per la copia cartacea, il ciclo di vita dell'e-book, a causa dello scarso utilizzo, comporta un carico ambientale ridotto, superiore al 10% solo nelle categorie *eutrofizzazione in acqua dolce* (ED) e *consumo di risorse, minerali e metalli* ( $CR_M$ ). Un discorso simile vale per la fase di creazione del prototipo in redazione che presenta un contributo massimo dell'8,6% nella categoria di impatto *consumo di risorse energetiche non rinnovabili*.

Accertato l'impatto significativo della copia cartacea, è bene sottolineare che gli impatti del libro misto di tipo b potrebbero ridursi nel caso in cui il libro di testo venga utilizzato da più utenti prima di essere gettato. Tale pratica, seppur non sempre praticabile per tutti i prodotti editoriali scolastici a causa del frequente cambio di versione, risulta diffusa soprattutto tra gli studenti delle scuole secondarie di secondo grado.

Nel caso di uso tra più utenti, l'analisi del ciclo di vita del prodotto si modificherebbe in quanto da un lato occorrerebbe aggiungere i carichi ambientali legati alla consegna del libro al nuovo utente, di entità verosimilmente ridotta, ma dall'altro si conteggerebbero i benefici per la ripartizione degli impatti del ciclo di vita della copia cartacea su più utilizzatori.

### 3.2. Risultati scenario di sensibilità (uso estremo del digitale)

L'uso dell'e-book associato al libro di testo medio Zanichelli al momento risulta ridotto al minimo e di conseguenza anche i carichi ambientali del suo ciclo di vita sono contenuti (Figura 3). È bene sottolineare, tuttavia, che gli impatti del prodotto digitale si possono suddividere in tre macro-fasi, di cui due strettamente dipendenti dalle modalità d'uso dell'utente:

- impatti legati alla fase di produzione dell'e-book e del relativo sito (impatti fissi);
- impatti legati al trasferimento dei contenuti digitali, dipendenti dalla quantità di Gigabyte effettivamente trasferita;
- impatti legati alla fase di apprendimento su digitale, dipendenti dalle ore di apprendimento annuali effettuate dall'utente su dispositivo elettronico e dal tipo di dispositivo adottato.

In accordo con tali presupposti, nell'analisi di sensibilità è stata valutata la variazione degli impatti ambientali del libro misto di tipo b nel caso di massimo sfruttamento del digitale da parte dell'utente, considerando quindi lo scaricamento di tutto l'e-book (1,28 GB/anno) e l'apprendimento sul solo materiale digitale, per 60 ore/anno, nonostante la presenza della copia cartacea (Tabella 2).

Dal confronto tra i due scenari, base e di sensibilità

(Tabella 6), emerge chiaramente che le modalità d'uso del digitale influenzano significativamente le prestazioni ambientali del libro misto di tipo b, soprattutto nelle categorie di impatto *cambiamento climatico* (CC), *tossicità umana non cancerogena* ( $TU_{NC}$ ), *eutrofizzazione in acqua dolce* (ED), *ecotossicità acquatica* (EC), *consumo di risorse energetiche non rinnovabili* ( $CR_E$ ) e *consumo di risorse, minerali e metalli* ( $CR_M$ ). In tali categorie, l'uso estremo del digitale comporterebbe un aumento complessivo degli impatti del libro di tipo b rispetto allo scenario base superiore al 50%, aumento che raggiungerebbe il 127% nella categoria di impatto di *eutrofizzazione in acqua dolce* e il 229% nella *categoria consumo di risorse, minerali e metalli*. Dall'analisi dei contributi dello scenario di sensibilità (Figura 4) emerge che il ciclo di vita dell'e-book, nelle condizioni di massimo sfruttamento del digitale, supererebbe il 40% dell'impatto del libro misto di tipo b in cinque categorie di impatto a causa delle seguenti motivazioni:

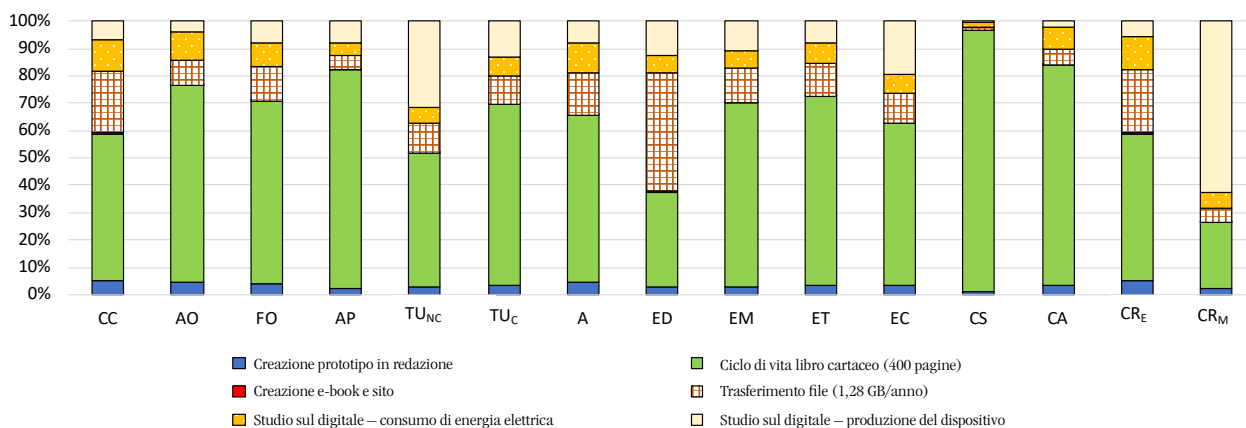
- categorie CC/ED e  $CR_E$ : impatti del digitale principalmente associati al consumo di elettricità per il trasferimento del file dai data center e per la successiva consultazione su dispositivo elettronico;
- $TU_{NC}$  e  $CR_M$ : impatti del digitale prevalentemente legati alla produzione del dispositivo elettronico, in particolare alla produzione dello schermo a cristalli liquidi ( $TU_{NC}$ ) e dei circuiti stampati ( $CR_M$ ). Si specifica che questo risultato si ottiene nonostante i carichi ambientali del dispositivo elettronico siano stati allocati su più funzioni e non esclusivamente alla fase di apprendimento. In dettaglio per la categoria *consumo di risorse, minerali e metalli*, il 63% dell'impatto del prodotto editoriale sarebbe associato alla realizzazione del dispositivo elettronico, prioritariamente per la presenza di oro, il metallo con il più alto fattore

di caratterizzazione in tale categoria di impatto (52 kg Sb/kg oro estratto; Fazio et al., 2018).

### 3.3. Confronto scenario libro misto di tipo b – libro digitale tipo c

Una volta acquisita la consapevolezza degli impatti del digitale, di entità non trascurabile, è stato effettuato un confronto (Tabella 6 e Figura 5) tra il ciclo di vita del libro misto di tipo b nello scenario base e il libro ministeriale di tipo c, in sola versione digitale (scaricamento di tutto l'e-book e consultazione per 60 ore/anno). Questa analisi è stata considerata funzionale a comprendere se possa essere ambientalmente giustificabile in un futuro prossimo la transizione diffusa verso il libro di testo digitale, promuovendo la relativa formazione e sensibilizzazione del corpo docente. Come visibile in Tabella 6, gli impatti generati dal libro in sola modalità digitale sono minori di quelli determinati dal libro misto b (scenario base) in 12 su 15 categorie, con riduzioni d'impatto comprese tra il -26% (categorie *cambiamento climatico* e *consumo di risorse energetiche non rinnovabili*) e il -96% (categoria *consumo di suolo*). Nella sola categoria di impatto *tossicità umana non cancerogena* ( $TU_{NC}$ ) gli impatti dei due libri sono confrontabili, mentre in due categorie di impatto (*eutrofizzazione in acqua dolce* e *consumo di risorse, minerali e metalli*) il libro ministeriale di tipo c presenta prestazioni significativamente peggiori (+49% e 150%, rispettivamente).

Prendendo a titolo di esempio la categoria di *cambiamento climatico*, in accordo con i dati ottenuti, l'apprendimento su solo libro digitale consentirebbe, rispetto alla situazione attuale, una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente a livello nazionale pari a circa 26.000 tonnellate/anno. Il dato è stato calcolato assumendo una riduzione di impatto di 590 grammi CO<sub>2</sub> eq/libro tra lo scenario attuale d'uso del libro misto e lo scenario di solo



**Figura 4.** Analisi dei contributi delle principali fasi del ciclo di vita di un libro misto di tipo b Zanichelli in accordo con lo scenario di sensibilità (uso estremo del digitale).

**Tabella 7.** Impatti ambientali dello scenario base associato al libro misto di tipo b (visione online/scaricamento di un ottavo dell'e-book e apprendimento su digitale per il 5% del tempo) e dello scenario del libro in sola modalità digitale (tipo c) per 120 ore/anno di apprendimento di una materia. La tabella riporta la variazione di impatto tra lo scenario base e lo scenario di sola modalità digitale calcolata come: (IMPATTO scenario digitale - IMPATTO scenario base) / IMPATTO scenario base \* 100. Variazioni di impatto inferiori al 10% sono ritenute non significative.

Categoria di impatto	Unità di misura	IMPATTO LIBRO b	IMPATTO LIBRO c
CC*	kg CO <sub>2</sub> eq.	2,26	2,30 (+2%)
AO	kg CFC-11 eq.	4,21×10 <sup>-7</sup>	2,28×10 <sup>-7</sup> (-46%)
FO	kg COVNM eq.	7,86×10 <sup>-3</sup>	5,25×10 <sup>-3</sup> (-33%)
AP	Incidenza di malattia	1,40×10 <sup>-7</sup>	5,32×10 <sup>-8</sup> (-62%)
TU <sub>NC</sub>	CTUh	2,79×10 <sup>-8</sup>	4,36×10 <sup>-8</sup> (+56%)
TU <sub>C</sub>	CTUh	1,50×10 <sup>-9</sup>	1,10×10 <sup>-9</sup> (-27%)
A	moli H <sup>+</sup> eq.	1,20×10 <sup>-2</sup>	9,98×10 <sup>-3</sup> (-17%)
ED	kg P eq.	7,05×10 <sup>-4</sup>	1,32×10 <sup>-3</sup> (+88%)
EM	kg N eq.	3,28×10 <sup>-3</sup>	2,26×10 <sup>-3</sup> (-31%)
ET	moli N eq.	3,14×10 <sup>-2</sup>	1,95×10 <sup>-2</sup> (-38%)
EC	CTUe	46,79	46,89 (+0,2%)
CS	Pt	143,51	9,15 (-94%)
CA	m <sup>3</sup> acqua	2,33	0,81 (-65%)
CR <sub>E</sub>	MJ	31,99	32,25 (+1%)
CR <sub>M</sub>	kg Sb eq.	2,21×10 <sup>-5</sup>	9,43×10 <sup>-5</sup> (+328%)

\* CC=cambiamento climatico; AO=assottigliamento dello strato di ozono; FO=formazione di ozono fotochimico; AP=assunzione di materiale particolato; TU<sub>NC</sub>=tossicità umana non cancerogena; TU<sub>C</sub>=tossicità umana cancerogena; A=acidificazione; ED=eutrofizzazione in acqua dolce; EM=eutrofizzazione marina; ET=eutrofizzazione terrestre; EC=ecotossicità acquatica; CS=consumo di suolo; CA=consumo di risorse idriche; CR<sub>E</sub>=consumo di risorse energetiche non rinnovabili; CR<sub>M</sub>=consumo di risorse, minerali e metalli.

uso digitale (Tabella 6), l'utilizzo di 10 libri da parte di uno studente per singolo anno scolastico e un numero attuale di studenti che frequentano le scuole superiori in Italia pari a 4.415.713 (dati Istat dell'anno 2019).

È bene tuttavia sottolineare che la riduzione quantificata potrebbe mutare al variare di alcuni dei parametri/assunzioni adottati nello studio soprattutto per il sistema di apprendimento digitale, come ad esempio:

- tipologia di dispositivo utilizzato e relativo consumo di energia elettrica (quantità e modalità di produzione);
- numero di ore di apprendimento su singolo e-book.

Ad esempio, qualora il numero di ore di apprendimento dell'utente per singolo libro fosse raddoppiato (120 h/anno<sup>1</sup> anziché 60h/anno), gli impatti associati al libro c (sola modalità digitale) sarebbero minori di quelli determinati dal libro misto b (scenario base) in 9 su 15 categorie, con riduzioni di impatto comprese tra il -17% e il -94% (Tabella 7). Nello specifico per la categoria di impatto *cambiamento climatico* i due sistemi presenterebbero

impatti confrontabili, non permettendo quindi di quantificare un'effettiva riduzione dei carichi ambientali da parte dell'apprendimento digitale (Tabella 7).

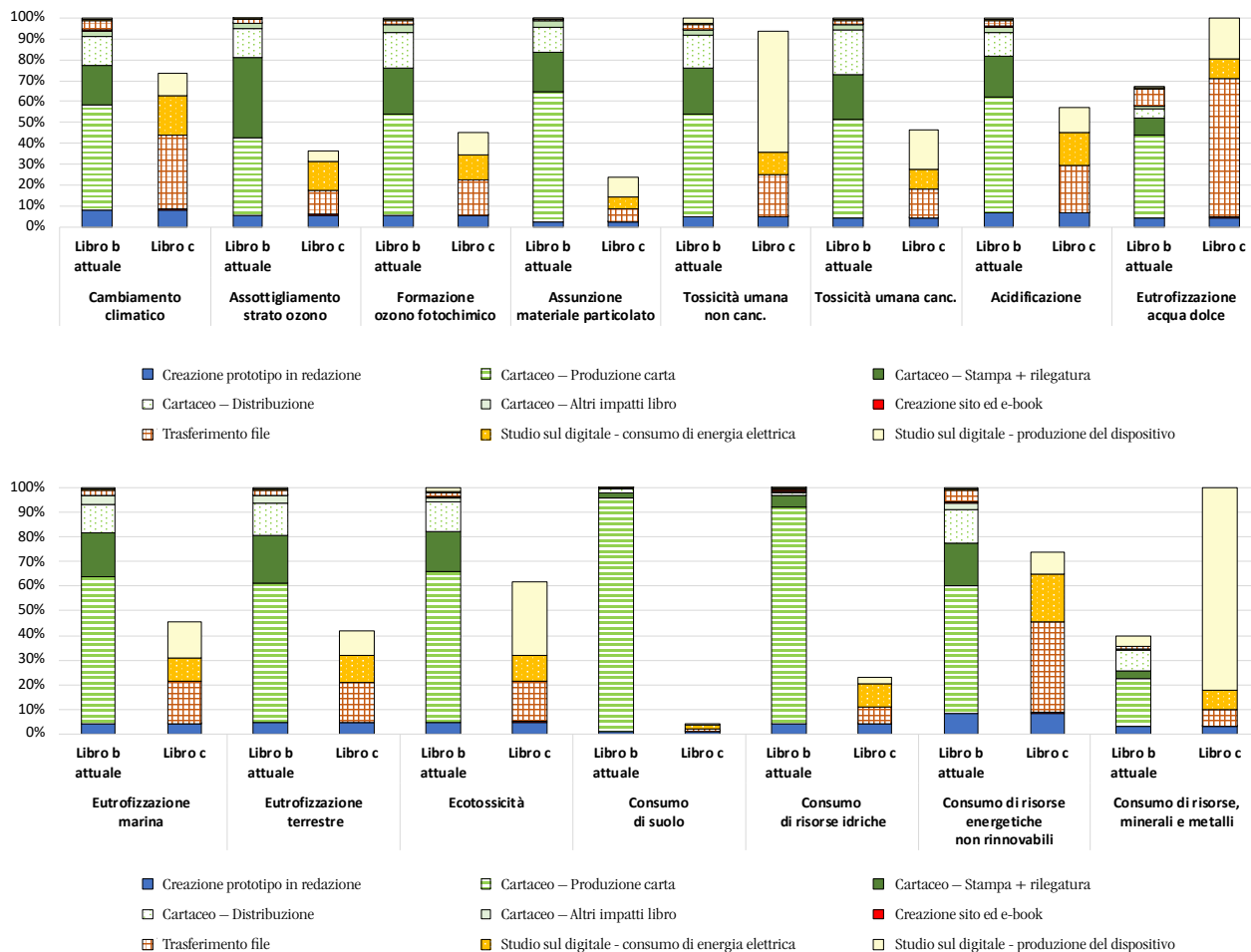
#### 4. Conclusioni, raccomandazioni e sviluppi futuri

In questo studio è stata effettuata una valutazione quantitativa degli impatti ambientali associati all'intera filiera produttiva, distributiva e d'uso del libro scolastico medio misto di tipo b (copia cartacea ed e-book) commercializzato dal gruppo editoriale Zanichelli.

Lo studio è stato svolto con l'obiettivo principale di effettuare una prima valutazione in merito ai carichi ambientali del prodotto in esame, sia in termini di impatti complessivi che di contributi delle diverse fasi, funzionale ad individuare i margini di miglioramento e indirizzare le strategie in ambito di sostenibilità ambientale. Particolare attenzione è stata posta sul prodotto digitale (e-book), sia perché in espansione, sia perché i carichi ambientali a esso associati sono fortemente influenzati dalle modalità d'uso da parte dell'utente, differenziandosi fortemente in questo dal prodotto cartaceo.

L'analisi degli impatti ha incluso tutte le fasi e i processi coinvolti nell'intero sistema, che è stato descritto prevalentemente con dati primari del gruppo Zanichelli per l'anno 2019, completati con dati di letteratura recenti e

1. Il valore di 60 h/anno è un valore medio che può però variare a seconda della materia studiata e del tempo che ogni singolo studente decide di dedicare allo studio.



**Figura 5.** Confronto dell'analisi dei contributi per lo scenario attuale legato al libro ministeriale di tipo b e lo scenario associato al ciclo di vita del libro c (in sola modalità digitale). Figura A: focus sui contributi delle categorie CC (cambiamento climatico), AO (assottigliamento strato di ozono), FO (formazione di ozono fotochimico), AP (assunzione di materiale particolato), TU<sub>NC</sub> (tossicità umana non cancerogena), TU<sub>C</sub> (tossicità umana cancerogena), A (acidificazione) ed ED (eutrofizzazione in acqua dolce). Figura B: focus sui contributi delle categorie EM (eutrofizzazione marina), ET (eutrofizzazione terrestre), EC (ecotossicità in acqua dolce), CS (consumo di suolo), CA (consumo di risorse idriche), CR<sub>E</sub> (consumo di risorse energetiche non rinnovabili) e CRM (consumo di risorse, minerali e metalli).

relativi al contesto europeo. La valutazione ambientale ha interessato 15 categorie di impatto, di cui 8 associate all'impatto sull'ambiente naturale, 3 all'impatto sulla salute umana e 4 all'impatto sull'esaurimento di risorse, con l'intento di includere il più ampio spettro di problematiche potenzialmente causate dal prodotto.

I risultati dello studio mostrano che gli impatti del libro misto di tipo b nello scenario attuale d'uso del digitale (visione online/scaricamento di un ottavo del libro e 5% del tempo complessivo di apprendimento) sono principalmente associati al ciclo di vita del libro cartaceo, soprattutto alla produzione di carta patinata vergine (richiesta nella quantità di circa 1 kg per libro). Prendendo a titolo d'esempio la categoria di impatto *cambiamento climatico* emerge che l'86% dell'impatto del libro scolastico misto risulta associato alla realizzazione della copia cartacea, prevalentemente per la realizzazione della carta patinata (50% dell'impatto complessivo).

Attualmente le potenzialità dell'e-book sono poco

sfruttate e di conseguenza il suo carico ambientale è ridotto, con un contributo del ciclo di vita sempre inferiore al 15% dell'impatto totale del prodotto editoriale. I carichi ambientali dell'e-book sono tuttavia strettamente dipendenti dalle modalità d'uso dell'utente, ossia dalla quantità di materiale effettivamente trasferito (in termini di Gigabyte) e dalle ore di studio dedicate all'apprendimento su dispositivo elettronico.

Utilizzando l'e-book al massimo delle sue potenzialità (visione online/scaricamento di tutto l'e-book e apprendimento dello studente su digitale nonostante la presenza del cartaceo), gli impatti complessivi del libro misto di tipo b subiscono un aumento importante, oscillante tra +17% e +229% a seconda della categoria di impatto. Questo perché un e-book, pur non richiedendo un trasporto fisico su strada, deve essere comunque trasferito all'utente per via digitale con un conseguente consumo di energia elettrica (1,5 kWh/GB) particolarmente impattante nelle categorie *cambiamento climatico*, *eutrofizzazione in acqua*

*dolce* o consumo di risorse energetiche non rinnovabili; la sua consultazione richiede, inoltre, l'uso di un dispositivo elettronico, la cui produzione, seppur allocata tra diverse funzioni, impatta significativamente in determinate categorie di impatto come il consumo di risorse, minerali e metalli a causa dell'acquisizione di materie prime anche preziose (oro e rame). Acquisita la consapevolezza degli impatti ambientali associati all'uso dell'e-book, si è ritenuto rilevante comprendere come varierebbero gli impatti dell'editoria scolastica se il mercato si spostasse dal prodotto misto (cartaceo più digitale) al prodotto nella sola versione digitale (libro ministeriale tipo c).

Ipotizzando che il materiale digitale mantenga le stesse caratteristiche nei due prodotti, gli impatti generati dal libro ministeriale c sarebbero minori di quelli generati dal libro misto nello scenario d'uso attuale in 12 su 15 categorie di impatto, confrontabili in 1 categoria (*tossicità umana non cancerogena*) e maggiori in 2 categorie (*eutrofizzazione in acqua dolce* e *consumo di risorse, minerali e metalli*).

In termini di raccomandazioni, avendo rilevato che attualmente gran parte degli impatti del prodotto Zanichelli sono associati alla realizzazione del libro cartaceo, si è suggerito di valutare la fattibilità tecnica ed economica delle seguenti soluzioni migliorative in termini di impatti ambientali:

- ridurre la richiesta di carta a parità di prodotto (es. riduzione del formato del libro, riduzione della grammatura della carta e riduzione del peso della copertina);
- valutare l'utilizzo di tipologie di carta che possano potenzialmente essere ambientalmente più sostenibili;
- ridurre la distanza di approvvigionamento della carta (al momento pari a una media di 700 km);
- effettuare la scelta dei fornitori, sia in termini di cartiere che di aziende grafiche per la stampa, anche sulla base di criteri di sostenibilità ambientale.

Per quanto riguarda, invece, il prodotto digitale, gran parte dei carichi ambientali sono legati al comportamento dell'utente, non direttamente controllabile dal gruppo Zanichelli. Tuttavia, la casa editrice sta promuovendo dei programmi educativi per gli studenti in modo da diffondere la consapevolezza dell'impatto ambientale "nascosto" legato all'uso del digitale.

Oltre a queste strategie di medio e lungo termine, è stata suggerita la possibilità di attuare in parallelo delle politiche di compensazione variabili nel tempo per neutralizzare le emissioni residue inevitabili a livello di gas ad effetto serra.

In un eventuale approfondimento futuro dello studio, si ritiene che sarebbe significativo approfondire i seguenti aspetti:

- acquisire dati primari in merito alla fase di produzione della carta patinata presso le principali cartiere fornitrici di Zanichelli (al momento sono stati utilizzati

dati medi di letteratura per il contesto europeo) e allargare il campione di aziende consultate per la modellizzazione della fase di stampa (le due aziende di riferimento consultate sinora rappresentano il 35% dei volumi di vendita);

- analizzare gli impatti dello stesso libro scolastico misto quando è previsto un suo utilizzo da parte di più utenti (situazione comune nel contesto scolastico italiano, soprattutto per gli studenti delle scuole secondarie di secondo grado);
- approfondire, attraverso analisi di sensibilità mirate, gli impatti del prodotto scolastico in sola modalità digitale al variare delle modalità d'uso dell'e-book (tipologia di dispositivo utilizzato e relativo consumo di energia elettrica). Per esempio, in caso di ricorso massiccio della tecnologia digitale potrebbe non essere opportuno che la maggior parte degli studenti usino il tablet (come accade ora) per motivi ergonomici e problemi di vista e il passaggio al personal computer potrebbe comportare un aumento degli impatti in fase di uso del dispositivo (maggiori consumi energetici e maggiori carichi ambientali per la produzione). Di contro, occorre tenere conto sia dell'evoluzione del settore digitale, con l'introduzione di modelli di PC sempre più performanti, che delle nuove modalità di produzione dell'energia elettrica (in Italia si sta assistendo a una crescita graduale delle installazioni di pannelli fotovoltaici proprietari soprattutto presso le utenze domestiche e gli edifici pubblici quali le scuole);
- l'analisi ambientale riportata nello studio potrebbe essere integrata con un'analisi di tipo economico (come l'analisi *life cycle costing*) e di tipo sociale (come l'analisi *social LCA*), permettendo una più completa valutazione della sostenibilità del ciclo di vita del prodotto editoriale scolastico, in piena ottica *life cycle sustainability assessment* (LCSA);
- comprendere l'influenza delle due modalità di apprendimento (libro misto o libro solo digitale) sulla mobilità degli studenti nel percorso casa-scuola: ad esempio l'assenza del peso dei libri cartacei potrebbe favorire un trasporto più sostenibile. ■

## Riferimenti bibliografici

- Achachlouei M.A., Moberg Å. e Hochschorner E. (2015) Life Cycle Assessment of a magazine, Part I: Tablet edition in emerging and mature states. *Journal of Industrial Ecology*, 19 (4): 575-589. DOI: 10.1111/jiec.12227
- Automobile Club d'Italia – ACI (2020) Autoritratto 2019 – consistenza parco veicoli – File Excel Circolante\_Copert\_2020. Disponibile su: <https://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/autoritratto/autoritratto-2020.html>

- Consorzio Nazionale per il Recupero ed il Riciclo degli Imballaggi a base Cellulosica – Comieco (2021) 26° Rapporto – Raccolta, riciclo e recupero di carta e cartone. Dati anno 2020. Disponibile su: <https://www.comieco.org/26deg-rapporto-annuale-comieco-sulla-raccolta-differenziata-di-carta-e-cartone-in-italia/>
- Consorzio Nazionale Imballaggi – Conai (2017) Indagine sulle pratiche di riutilizzo dei pallet in legno. Disponibile su: [https://www.conai.org/wp-content/uploads/2020/05/Relazione\\_Riutilizzo\\_pallet.pdf](https://www.conai.org/wp-content/uploads/2020/05/Relazione_Riutilizzo_pallet.pdf)
- Enroth M. (2009) Environmental impact of printed and electronic teaching aids, a screening study focusing on fossil carbon dioxide emissions. *Advances in Printing and Media Technology*, 36: 1-9
- Fazio S., Biganzioli F., De Laurentiis V., Zampori L., Sala S. e Diaconu E. (2018) Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods. Version 2 from ILCD to EF 3.0. Ispra: Joint Research Centre. ISBN 978-92-79-98584-3
- Disponibile su: [https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/TR\\_SupportingCF\\_FINAL.pdf](https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/TR_SupportingCF_FINAL.pdf)
- Il Sole 24 Ore (2018) Ci sono 4,3 milioni di italiani senza internet. Ecco chi sono i disconnessi? *Tecnologia Info Data*. Disponibile su: [https://www.infodata.ilssole24ore.com/2018/10/20/ci-43-milioni-italiani-senza-internet-disconnessi/?refresh\\_ce=1](https://www.infodata.ilssole24ore.com/2018/10/20/ci-43-milioni-italiani-senza-internet-disconnessi/?refresh_ce=1)
- International Organization for Standardization – ISO (2006a) ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework (ISO 14040:2006+ Amd1:2020)
- ISO (2006b) ISO 14044: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines (ISO 14044:2006+Amd1:2017+Amd2:2020)
- Istituto nazionale di statistica – Istat (2019). Istruzione e formazione – scuole – dati principali. Disponibile online: [http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCIS\\_SCUOLE](http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCIS_SCUOLE)
- Malmodin J., Lundén D., Moberg Å., Andersson G. e Nilsson M. (2014) Life cycle assessment of ICT. Carbon Footprint and operational electricity use from the operator, national, and subscriber perspective in Sweden. *Journal of Industrial Ecology* 18(6): 829-845. DOI: 10.1111/jiec.12145
- Moreno Ruiz E., FitzGerald D., Symeonidis A., Ioannidou D., Müller J., Valsasina L., Vadenbo C., Minas N., Sonderegger T. e Dellenbach D. (2021) Documentation of changes implemented in ecoinvent database v3.8. Zürich: ecoinvent Association. Disponibile su: <https://ecoinvent.org/wp-content/uploads/2021/09/Change-Report-v3.8.pdf>
- Naicker V. e Cohen B. (2016) A life cycle assessment of e-books and printed books in South Africa. *Journal of Energy in Southern Africa*, 27(2): 68-77
- Politecnico di Milano, Osservatorio eCommerce B2c (2019) Report sulla sostenibilità ambientale nell'e-commerce B2c.
- Disponibile su: <https://www.osservatori.net/it/prodotti/formato/report/sostenibilita-ambientale-ecommerce-b2c-report>
- Skuola Network s.r.l. (2018) Quante ore studiano gli studenti? Disponibile su: <https://www.ripetizioni.it/blog/quante-ore-studiano-gli-studenti/>
- Statista (2021a) Average lifespan (replacement cycle length) of consumer tablets in the United States from 2018 to 2025. Disponibile su: <https://www.statista.com/>
- Statista (2021b) Average lifetime of normal and robust notebooks regarding end users of U.S. companies (in months). Disponibile su: <https://www.statista.com/>
- Statista (2021c) Average lifespan (replacement cycle length) of consumer desktop PCs in the United States from 2018 to 2025. Disponibile su: <https://www.statista.com/>
- Suhr M., Klein G., Kourti I., Gonzalo M.R., Santonja G.G., Roudier S. e Sancho L.D. (2015) Best Available Techniques (BAT) reference document for the production of pulp, paper and board. Luxembourg: European commission, Joint Research Centre (JRC). ISBN: 978-92-79-48167-3. Disponibile su: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC95678>
- The International EPD® System (2017) Bottled waters, not sweetened or flavoured, product category rules (PCR) 2010:11, version 3.0.
- The International EPD® System (2019) General Programme Instructions. Versione 3.01. Disponibile su: <https://www.datocms-assets.com/37502/1608286739-general-programme-instructions-v3-01.pdf>
- Zanichelli editore S.p.A. (2022) Sostenibilità ambientale – ridurre le emissioni nella produzione dei libri e degli ebook. Disponibile su: <https://www.zanichelli.it/chi-siamo/obiettivo-dieci-in-sostenibilita-sostenibilita-ambientale-7#punto7>

## Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare tutti i collaboratori del gruppo editoriale Zanichelli e delle due aziende grafiche oltre che la dottoressa Germana Olivieri che hanno contribuito alla fase di raccolta dati dello studio.



# 35 ANNI DI RICOGNIZIONE DEGLI SCARICHI FOGNARI IN TRENTINO

Giuliano Rizzi<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Provincia Autonoma di Trento, Servizio Sostegno Occupazionale e Valorizzazione Ambientale.

<sup>2</sup>Università di Trento, Dipartimento Ingegneria Civile Ambientale e Meccanica.

## Sommario

La qualità delle acque di fiumi e laghi è talvolta minacciata dalle attività antropiche. Da sempre, infatti, i corpi idrici sono tra i principali recettori dei residui delle più diverse attività. Tra le varie pressioni si annoverano anche quelle dovute all'immissione di reflui di tipo civile. Al fine di ridurre gli impatti ed evitare squilibri ecologici sui corpi idrici, sono stati realizzati impianti di depurazione in grado di riversare nel corpo recettore i reflui dopo i necessari trattamenti secondari e terziari, senza così pregiudicare le capacità autodepurative delle acque correnti.

Perché i depuratori possano essere efficaci nella loro azione, è importante che i reflui ad essi convogliati dal sistema di reti fognarie siano conformi alla portata di

progetto e che lo sdoppiamento delle reti sia effettivo.

Il presente lavoro raccoglie i dati di anni di ricognizioni degli scarichi fognari effettuate in Trentino, volti alla individuazione delle criticità nelle reti e negli allacciamenti delle utenze civili: lo studio evidenzia l'esistenza, in diverse località, di interferenze tra le reti di fognatura bianca e nera che i gestori sono chiamati a sanare e una percentuale non irrilevante di allacciamenti scorretti da parte degli utenti che rischia di inficiare l'efficienza dei sistemi di depurazione.

**Parole chiave:** *fognature, reflui civili, inquinamento, corpi idrici, tutela acque*

## 35 YEARS OF SURVEY OF SEWER DRAINS IN TRENTINO

### Abstract

The water quality of rivers and lakes is sometimes threatened by anthropogenic activities. In fact, water bodies have always been among the main receptors for the residues of the most diverse activities. The various pressures also include those due to the introduction of civil wastewater. In order to reduce the impacts and avoid ecological imbalances on water bodies, purification plants have been created, capable of discharging the wastewater into the receiving waterbody after the necessary secondary and tertiary treatments, without thus compromising the self-purifying capacity of running water.

In order for the treatment plants to be effective in their

action, it is important that the wastewater conveyed to them by the sewage system conforms to the project flow rate and that the splitting of the networks is effective.

This work collects the data of years of reconnaissance of sewage discharges carried out in Trentino, aimed at identifying the criticalities in the networks and in connections of civil users: the study highlights the existence, in different locations, of interference between the white and black sewerage. Moreover, a not insignificant percentage of incorrect connections by users, that risk affecting the efficiency of the purification systems, has been identified.

**Keyword:** *sewerage, civil wastewater, pollution water bodies, water protection*

\* Per contatti: Via del Brennero 165, 38123 Trento. Tel 0461.496066. giuliano.rizzi@provincia.tn.it

Ricevuto il 11-6-2022; Correzioni richieste il 29-6-2022; Accettazione finale il 4-7-2022.

## 1. Introduzione

### 1.1. Le disposizioni normative

Le attività antropiche hanno avuto tipicamente necessità di grandi quantità di acqua e ancor oggi richiedono, pur con la mutata attenzione e i progressi tecnici implementati nelle filiere di processo, l'utilizzo di questa risorsa che sembrava appartenere alla categoria dei beni illimitati. Il ciclo di uso dell'acqua si chiude con la restituzione all'ambiente della stessa sotto forma di scarico: in altre parole conseguenza diretta dell'uso dell'acqua è la produzione di reflui.

I corpi idrici, sia superficiali che sotterranei, sono da sempre i recettori preferenziali dei residui delle attività antropiche e mostrano una significativa capacità di reagire all'immissione diretta o indiretta di carichi inquinanti. In natura si sviluppano infatti una serie di meccanismi (da quelli fisici, come la sedimentazione, a quelli chimici e biologici, come reazioni red-ox e degradazione batterica) che tendono a riportare allo stato naturale l'acqua: è il fenomeno di autodepurazione.

Fiumi, laghi e mari non possono però ricevere eccessive quantità di sostanze inquinanti: quando i carichi inquinanti immessi risultino superiori alle capacità autodepurative, ne consegue una compromissione della qualità delle acque e la perdita dei delicati equilibri dell'ecosistema.

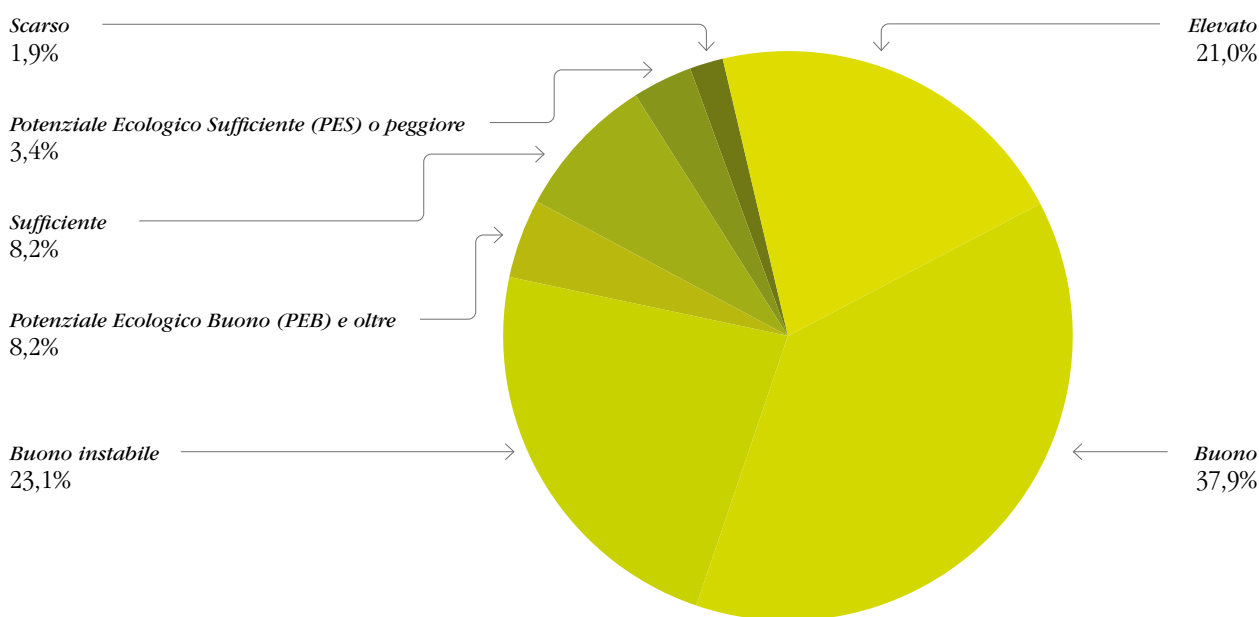
In Italia ha avuto al riguardo grande importanza la cosiddetta Legge Galli (L. 34/94) che, mediante un approccio integrato, considerando i limiti agli scarichi in combinazione con i limiti di qualità dei corpi idrici, ha posto particolare attenzione sulla tutela dei corpi idrici recettori. Tale attenzione è stata poi confermata dal D.Lgs. 11 maggio 1999, n.152 (in recepimento della direttiva comunitaria 91/271/CEE concernente

il trattamento delle acque reflue urbane) che focalizza l'attenzione sulla qualità del corpo idrico recettore, introducendo l'attività di monitoraggio in modo da poter quantificare anche i danni ambientali derivanti dall'attività antropica. Alla base della politica europea in materia ambientale troviamo infatti a fianco ai principi di precauzione, di prevenzione e di correzione anche il principio "chi inquina paga".

In attuazione della Direttiva Quadro in materia di Acque (2000/60/CE), recepita in Italia col D.Lgs. n. 152 del 2006, tutti i Paesi dell'Unione Europea avevano l'obbligo di raggiungere lo stato di qualità "buono" per tutte le acque entro il 2015. Al fine di valutare il rischio di non raggiungimento o di non mantenimento degli obiettivi di qualità (art. 4 della DQA) in ogni Distretto Idrografico si devono raccogliere le informazioni relative al tipo e all'entità delle pressioni antropiche che insistono sui corpi idrici e si devono formulare delle misure atte a far raggiungere agli stessi gli obiettivi di qualità. I risultati dell'analisi delle pressioni e degli impatti fanno parte integrante dei Piani di Gestione Distrettuali e dei Piani di Tutela locali.

#### 1.1.1. La situazione in Trentino

In Provincia di Trento oggi è attiva una rete di monitoraggio composta di 169 stazioni per il monitoraggio delle acque (di cui 70 per monitorare corpi idrici con pressioni significative che ne compromettono lo stato ecologico o chimico). I risultati del capillare monitoraggio chimico-fisico-biologico condotto indica globalmente un buon livello di qualità delle acque: su un totale di 377 corpi idrici, 79 corsi d'acqua mostrano uno stato ecologico elevato, 143 buono e 87 buono instabile.



**Figura 1.** Stato o Potenziale ecologico dei corpi idrici fluviali in Trentino (Piano di Tutela delle Acque 2022-2027, Trento, AA.VV., 2021).

Rispetto agli obiettivi della Direttiva Quadro Acque, per quanto riguarda i corpi idrici fluviali a rischio, 18 sono risultati in proroga e 27 in deroga, «*essenzialmente a causa di pressioni derivate da scarichi civili e scolmatori causati da non corretti allacciamenti alle reti e mancato sdoppiamento delle reti stesse... I maggiori elementi di criticità nel comparto civile sono la presenza di impianti a bassa efficacia di abbattimento degli inquinanti, quali le fosse Imhoff, il mancato sdoppiamento della rete di acque bianche e nere o gli errori di allacciamento, laddove è separata*» (Piano di Tutela Acque della Provincia di Trento, 2021).

### 1.1.2. Le ricognizioni degli scarichi fognari

Per tale motivo in Trentino, a fianco al monitoraggio della qualità delle acque di competenza dell'APPA (Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente), si è provveduto ancora dagli anni '80 a effettuare campagne di ricognizioni degli scarichi fognari che sono stati affidati al Servizio SOVA (Sostegno Occupazionale e Valorizzazione Ambientale) della Provincia Autonoma di Trento.

È infatti evidente che la sola presenza di reti fognarie sdoppiate e di depuratori civili, non implica garanzia di qualità delle acque, se non accompagnata dal corretto allacciamento degli scarichi civili alle reti fognarie e senza un controllo della funzionalità delle reti stesse.

Il Servizio SOVA è un servizio che svolge le sue funzioni coniugando finalità ambientali (attività di conservazione della natura, ripristino e valorizzazione ambientale) all'aspetto occupazionale (finalità di formazione e reinserimento lavorativo di persone espulse dal mondo del lavoro e/o in stato di disoccupazione). Tali peculiarità lo rendono particolarmente adatto a quei lavori che necessitano di manodopera non specializzata, tra cui anche queste forme di indagini ambientali.

Le ricognizioni degli scarichi fognari, a lungo coordinate dall'ing. Sergio Deromedis (funzionario del Servizio SOVA), sono state prioritariamente effettuate nelle aree in cui i corpi idrici recettori manifestavano criticità potenzialmente riconducibili alla presenza di scarichi civili non adeguatamente trattati.

Le ricognizioni avevano quindi l'obiettivo di individuare i casi di scorretto allacciamento delle singole utenze alle reti fognarie o di malfunzionamento delle reti fognarie stesse.

Le anomalie riscontrate si possono classificare in:

- A) scorretto allacciamento delle utenze alla rete di fognatura
  1. immissione di acque nere nella rete di fognatura bianca;
  2. immissione di acque bianche nella rete di fognatura nera;

3. scarico di acque nere a dispersione;
4. collegamento delle fosse biologiche a dispersione;

### B) malfunzionamento delle reti di fognatura

1. immissione di reflui dalla fognatura bianca alla fognatura nera;
2. immissione di reflui dalla fognatura nera alla fognatura bianca;
3. perdite o scarichi a dispersione.

Con l'occasione si sono potute verificare anche il rispetto delle indicazioni in riferimento alla "buona tecnica", come nei casi di impianti di scarico dotati di tubazioni con diametri inferiori a 150mm, assenza di sifone, sifone non ispezionabile, problemi di tenuta dell'impianto, ecc.

Queste irregolarità costruttive non hanno impatto sui corpi idrici recettori, a differenza delle altre anomalie riscontrate che invece possono influenzarne lo stato ecologico: le situazioni di scarico di acque nere nella rete fognaria bianca è causa diretta di inquinamento mentre la situazione opposta di sversamento delle acque bianche in rete di fognatura nera porta ad un malfunzionamento degli impianti di depurazione. Malfunzionamento dovuto alle eccessive portate in ingresso che gli impianti non sono in grado di trattare, provocando una situazione di troppo-pieno e costringendo a bypassare il trattamento biologico, con conseguente sversamento diretto dei reflui non trattati nel corso d'acqua recettore.

## 2. Materiali e metodi

Le indagini ambientali sono normalmente condotte su scala comunale, che rappresenta l'unità territoriale più adatta sia per la continuità dell'operatore di gestione della rete fognaria (quindi uniformità di gestione, facilità di accesso alla documentazione e cartografia esistente, possibilità di intervento del sindaco con ordinanze, ecc.) che per la limitatezza spaziale (la Provincia di Trento è caratterizzata da un territorio orograficamente complesso suddiviso attualmente in 166 Comuni) e si svolgono in più fasi.

### 2.1. Censimento delle reti

In una prima fase, una volta reperite dal Comune le informazioni relative alle reti di fognatura e predisposta l'opportuna cartografia, si effettua un censimento delle reti di fognatura bianca e nera.

Durante tale attività si procede ad un controllo puntuale di ciascun pozzetto della rete fognaria e, attraverso l'uso di traccianti, il collegamento con il pozzetto successivo. Tale attività porta ad una stima della funzionalità della rete nel suo complesso: con l'esame visivo del pozzetto (se ispezionabile) si può valutare lo stato di qualità dei manufatti evidenziandone

eventuali rotture localizzate, pericolo di cedimento strutturale, fessurazioni, perdite potenziali e problemi di impermeabilizzazione, incrostazioni, presenza di materiale estraneo, ecc. Attraverso queste operazioni si individuano gli erronei collegamenti tra i pozzetti o la presenza di scolmatori non segnalati (interconnessioni o altri elementi che possano inficiare lo sdoppiamento della rete).

Nella fase di censimento si procede dunque all'individuazione ed apertura di ogni pozzetto, al rilievo delle misure, dei materiali e dello stato di manutenzione; terminata la verifica il pozzetto viene chiuso e contrassegnato con il colore rosso per la rete nere ed il colore blu per la rete bianca. La posizione dei pozzetti, cui viene assegnato un codice identificativo univoco, le dimensioni la tipologia e tutti i dati associati, compresi i collegamenti verificati tra i collettori e le loro diramazioni, vengono dapprima registrati in apposite schede (o direttamente su appositi moduli informatici) e poi trascritti in un geodatabase.

### 2.2. Verifica degli allacciamenti

La seconda fase è volta a verificare il corretto allacciamento delle singole utenze alla rete. Questa attività detta di "collaudo", consiste nel versare un tracciante (tipicamente della Fluoresceina sodica) all'interno di ogni scarico (lavandini, docce, WC, ecc.) delle abitazioni di un edificio e controllarne poi il percorso, accertandosi che arrivi al sifone e quindi al pozzetto di rete nera. Vengono inoltre anche verificati i collegamenti degli scarichi di acque bianche come i pluviali ai pozzetti di fognatura bianca (qualora risulti difficile utilizzare il tracciante tale controllo si esegue battendo sulla tubazione metallica e cercando di individuare il suono nel corrispondente pozzetto). Si tratta della parte più impegnativa dell'intera attività perché, oltre al numero di verifiche da effettuare, presuppone di controllare a tappeto tutti gli insediamenti richiedendo la disponibilità del proprietario a far entrare in casa gli operatori.

In modo analogo al caso dei pozzetti di fognatura, anche per le utenze vengono compilate delle schede in cui vanno riportati i dati necessari all'individuazione dell'edificio, dei proprietari, le tipologie di scarico, i materiali di costruzione, la presenza o meno di sifoni, pozzetti di ispezioni, vasche a tenuta, fosse biologiche, pompe e uno schema semplificato dell'insediamento con i relativi scarichi. I percorsi delle acque nere e delle acque bianche che vengono prodotte dall'edificio e dalle relative pertinenze sono tracciati fino al punto di recapito e i dati raccolti vengono riportati su apposite schede con annessi gli schemi dell'edificio. Tali schede, compilate a cura dell'operatore, vanno controfirmate dal proprietario o da un suo delegato a prova dell'avvenuto collaudo.

### 2.2.1. Classificazione degli esiti delle verifiche

A seconda della correttezza o meno degli allacciamenti è stata proposta la seguente classificazione dell'esito del collaudo:

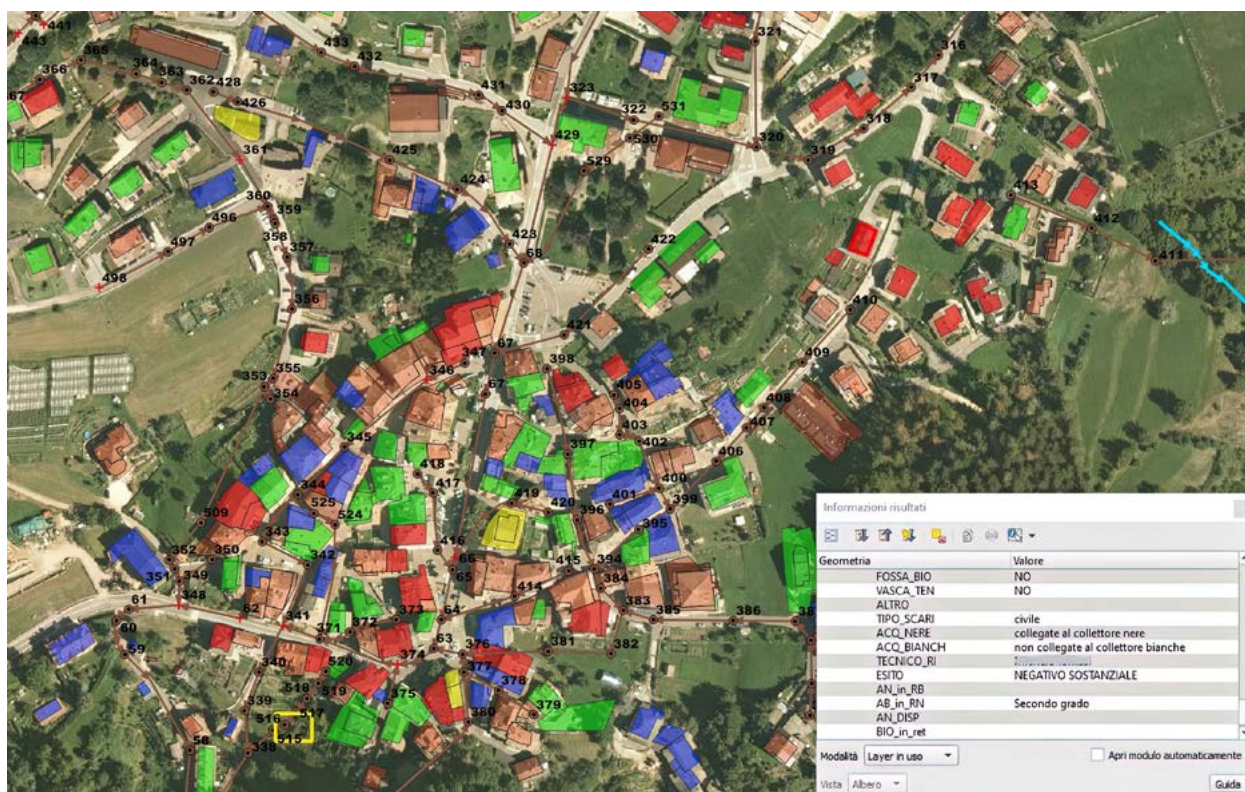
- **ESITO POSITIVO** (colore verde): attribuito agli insediamenti il cui allacciamento alle reti di fognatura bianca e nera risulta corretto.
- **ASSENZA D'ESITO** (colore giallo): attribuito agli insediamenti per i quali non è stato possibile esprimere un giudizio di qualità e che necessitano di approfondimenti ulteriori.
- **ASSENZA DI VERIFICA** (colore blu): attribuito agli insediamenti disabitati, in costruzione o ristrutturazione, dove non è stato possibile trovare il proprietario o dove lo stesso abbia rifiutato il collaudo.
- **ESITO NEGATIVO SOSTANZIALE** (colore rosso): attribuito agli insediamenti che sono causa di inquinamento ambientale per collegamento di acque nere nella rete bianca, di acque bianche nella rete nera, della fossa biologica alla rete, oppure di acque nere a dispersione.
- **ESITO NEGATIVO FORMALE** (colore rosa): attribuito agli insediamenti dove l'allacciamento presenta delle difformità rispetto a quanto previsto dalle normative igienico – sanitarie (p.e. assenza o difformità del sifone, cameretta sifone non stagna, cameretta e sifoni non ispezionabili, acque bianche a dispersione su proprietà pubblica, ecc).

### 2.3. Elaborazione dei dati georeferiti

Tutte le informazioni raccolte nel controllo del percorso dei reflui nelle reti e nella verifica del corretto allacciamento delle utenze alle reti vengono inserite in un geodatabase in modo da poter visualizzare con degli applicativi GIS i dati e le eventuali anomalie riscontrate. La colorazione degli elementi grafici consente di avere una immediata rappresentazione della situazione di ogni comune/territorio e di stimare l'impatto delle criticità registrate.

Interrogando il GIS è possibile reperire i dati delle utenze verificate, il numero e tipo di anomalia riscontrata associata, la qualità delle reti, le misure dei pozzetti, le date di rilevazione, ecc. mentre in una relazione tecnica viene riportato il quadro della situazione analizzata, un giudizio di qualità complessivo, la tabella di sintesi degli esiti delle verifiche, la quantità stimata di acque bianche che si sversano annualmente nelle reti di fognatura nera e le azioni da mettere in campo per rimuovere le cause dell'inquinamento.

Viene quindi prodotta una relazione di sintesi dell'attività svolta comprensiva degli allegati contenenti puntualmente i controlli effettuati sulle reti e gli esiti delle verifiche degli allacciamenti per tutti gli insediamenti. La relazione viene inviata all'Agenzia Pro-



**Figura 2.** Esempio di restituzione con QGIS per l'attività di ricognizione in una frazione rurale del Trentino orientale: si noti la significativa presenza di seconde case cui non è stato possibile contattare i proprietari per procedere alle verifiche (colore blu) rispetto a quelle con esito positivo (colorazione verde) o negativo (rosso).

vinciale per la Protezione dell'Ambiente e ai Comuni perché possano provvedere ad attuare le misure necessarie alla rimozione delle criticità ambientali riscontrate.

#### 2.4. Ricollaudò

Una ulteriore fase operativa è chiamata "ricollaudò". Infatti, una volta che gli esiti delle precedenti verifiche sono stati consegnati ai Comuni e agli enti gestori delle reti fognarie, dopo un congruo periodo di tempo, in accordo con l'amministrazione richiedente si può procedere ad una nuova attività di verifica delle sole anomalie riscontrate nelle indagini precedenti. Tale fase di ri-verifica è proposta dopo che i privati o l'ente gestore hanno provveduto alle azioni di loro competenza per la rimozione delle cause di inquinamento precedentemente individuate: infatti durante questa ulteriore attività si passa a controllare solo quelle utenze o quelle reti in cui erano state riscontrate delle criticità, al fine di poter dichiarare: l'avvenuto risanamento delle reti di fognatura o degli insediamenti che presentavano delle negatività sostanziale. Inoltre, il ri-collaudò è anche occasione per provare a prendere contatto con i proprietari degli immobili che nella fase precedente erano risultati irreperibili e quindi verificare quelle utenze che erano precedentemente state classificate con assenza d'esito o assenza di verifica.

### 3. Risultati

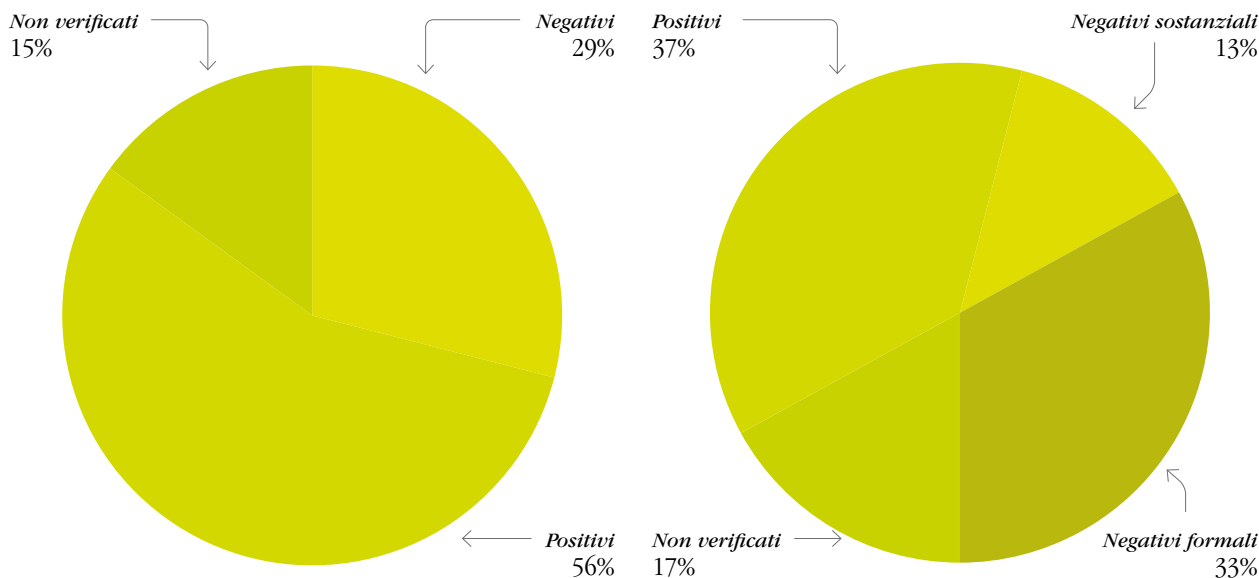
Le indagini ambientali sulla rete fognaria in Trentino sono state condotte a partire dal 1987 dal Servizio SOVA (Servizio Sostegno Occupazionale e Valorizzazione Ambientale). Si possono distinguere essenzialmente due archi temporali riguardanti tali attività.

Nel periodo 1987-2000 sono state condotte le indagini ambientali su 17 comuni (circa l'8 % rispetto ai comuni della provincia di Trento, che al tempo erano 223), controllando quasi 25.000 insediamenti, cui corrisponde una popolazione di oltre 63.000 abitanti (12 % rispetto alla popolazione residente della provincia di Trento nel 2000).

Durante quel periodo furono ispezionati oltre 16 mila pozzetti (10043 pozzetti di rete nera e 6379 di rete bianca) che si snodavano su una rete di 326 km di fognatura bianca e 193 km di fognatura nera.

In quel frangente le cosiddette negatività riscontrate furono pari al 27% rispetto al 56% degli esiti positivi. Si evidenzia che nello stesso periodo lo sdoppiamento delle reti di fognatura non era ancora completato e circa 1% delle reti era di fognatura mista.

Dal 2001 in poi le attività di ricognizione degli scarichi fognari hanno esperito un notevole miglioramento grazie al rilevamento con GPS, all'inserimento delle informazioni in database database georeferiti e al



**Figura 3.** Esiti delle ricognizioni degli scarichi fognari per i periodi 1987-2000 e 2001-2021. Esiti positivi corrispondono a situazioni in cui è stato verificato il corretto allacciamento tra insediamenti e reti di fognatura bianca e nera; esiti negativi corrispondono a situazioni in cui l’allacciamento presenta delle difformità rispetto a quanto previsto dalle normative igienico – sanitarie (negativi formali) o in cui lo scorretto allacciamento alle reti di fognatura rende gli insediamenti a causa di inquinamento ambientale (negativi sostanziali).

lavoro di organizzazione, sistematizzazione e analisi dell’ing. Sergio Deromedis che per oltre quindici anni ne ha coordinato l’attività.

Negli ultimi 20 anni sono stati verificati 71 comuni (il dato non è confrontabile con il periodo precedente a causa del processo di fusione di molti comuni), per un totale di circa 46.500 abitazioni andando ad analizzare un territorio popolato da 164.000 persone (30% rispetto alla popolazione residente della provincia di Trento nel 2022). Sono stati ispezionati quasi 60 mila pozzetti (31.732 pozzetti di rete nera e 28.215 di rete bianca) che si snodano su una rete di 1.034 km di fognatura bianca e 835 km di fognatura nera. Nel totale sono state trovate 262 anomalie (in media circa 4 interferenze tra acque bianche e nere per Comune), di cui 218 sulle reti di fognatura nera e 44 sulle reti di fognatura bianca.

Lo stato di qualità della rete fognaria nel suo complesso, al di là delle anomalie da rimuovere, è buono:

solo 1% dei pozzetti presentava una qualità scadente per condizioni strutturali, rotture localizzate, problemi di fessurazioni e infiltrazioni, ecc. nonostante reti e collettori fognari siano stati realizzati prima degli anni ‘80 in oltre la metà dei casi.

In riferimento agli esiti degli allacciamenti delle singole utenze, mediamente non si è potuto procedere alla verifica per il 17% degli insediamenti individuati: in rari casi questo è stato dovuto al rifiuto del proprietario (2%), mentre nella maggior parte delle volte per l’impossibilità di reperire il proprietario (76%). Quest’ultima situazione è abbastanza comune nei piccoli paesi delle aree rurali/alpine del Trentino, dove si ha a che fare con lo spopolamento di certe valli e dove i proprietari sono emigrati.

Nei casi in cui la verifica è stata effettuata, si è trovato in media il 13% di negatività sostanziali, il 33% di negatività formali (casi in cui non si determinano problemi di inquinamento) e il 37% di esiti positivi.

**Tabella 1.** Gravità degli esiti negativi sostanziali.

Grado di gravità	Negatività sostanziale	Esempio
1	Tutti gli scarichi dell’insediamento sono causa di inquinamento	Tutte le acque nere dell’abitazione finiscono in rete bianca
2	Alcuni scarichi dell’insediamento sono causa di inquinamento	Scarico del pluviale allacciato alla rete nera
3	Solo gli scarichi ad uso saltuario dell’insediamento danno origine ad inquinamento	Scarico del lavandino del garage allacciato alla rete bianca

Entrando più nel dettaglio si evidenzia che i casi in cui si verifica inquinamento da scarichi civili (le negatività sostanziali) sono imputabili essenzialmente ad un 5% di allacciamenti sbagliati di acque nere in rete bianca e altrettanti di acque bianche in rete nera, e la restante parte per sversamento di acque nere a dispersione.

Al fine di fornire delle indicazioni operative per ordine di priorità nella rimozione delle cause di inquinamento si sono suddivise le negatività sostanziali in 3 classi, come indicato in Tabella 1.

Degli esiti negativi sostanziali individuati il 30% è riferibile al primo grado di gravità per le acque nere in rete bianca e il 37% è riferibile al primo grado di gravità per le acque bianche in rete nera: sono questi i casi in cui le amministrazioni comunali e gli enti gestori devono agire prioritariamente avvisando le utenze per eliminare le problematiche riscontrate.

Per quanto concerne le negatività formali (che risultano essere la maggior parte dei casi negativi riscontrati), in prevalenza sono riconducibili all'assenza del sifone negli scarichi delle acque nere, alla presenza di diametri inferiori a quanto disposto dalla normativa tecnica o di camere non ispezionabili.

Confrontando i due periodi di rilevazione (anteriore e seguente l'anno 2000) si vede che l'attività di ricognizione degli scarichi fognari ha riguardato oltre la metà dei Comuni della Provincia di Trento e quasi la metà della popolazione trentina, coinvolgendo sia le località più rurali che i maggiori centri urbani. Nel secondo periodo si nota un dimezzamento degli esiti negativi sostanziali, frutto della crescente attenzione all'ambiente e del lavoro degli enti gestori delle reti. Tale andamento è stato confermato anche nelle attività di attività di ricollauda (effettuate quindi solo sui casi affetti da negatività rilevata nelle precedenti indagini ambientali o nelle abitazioni in cui non era stata possibile la verifica), dove per oltre il 30% dei casi non si evidenziavano più negatività.

#### 4. Discussione

Fin dagli anni '80 la Provincia Autonoma di Trento (di seguito PAT) ha perseguito obiettivi di qualità dei corpi idrici recettori, effettuando cospicui investimenti nella costruzione di impianti di smaltimento delle acque reflue e nello sdoppiamento delle reti di collettamento.

Attualmente il "carico generato totale" della Provincia è valutato in 1.055.970 Abitanti Equivalenti. Di questi, 996.523 AE (il 94% circa del totale) sono sottoposti a trattamento secondario/terziario, mentre 59.447 AE (il 6%) sono sottoposti a trattamento primario o ad autonomo trattamento individuale (Piano di

Tutela delle Acque, 2021). Questo residuale 6% risponde all'utilizzo di vasche "Imhof" nelle aree più remote dove risulta improponibile l'allacciamento a reti di fognatura (a tal proposito si evidenzia che in Trentino anche alcuni rifugi alpini molto frequentati sono stati allacciati alla rete fognaria per limitare le problematiche di inquinamento da reflui civili).

Nel corso del lavoro si è tentato anche di dare un giudizio di qualità ai Comuni in cui è stato possibile condurre le ricognizioni degli scarichi fognari e capire quanto la presenza di anomalie sulle reti o di scorretti allacciamenti delle utenze potessero influenzare la qualità delle acque nei corpi recettori. Se appare evidente una pressione degli scarichi civili sui corpi idrici, più o meno significativa, rilevata dalle misure di monitoraggio effettuate da APPA, più difficile è trovare una correlazione diretta con lo stato ecologico. La classificazione dello stato ecologico dei corpi idrici, infatti, è complessa e si va a comporre di molteplici aspetti: dagli elementi chimici (rispetto a specifiche soglie di riferimento) a elementi ambientali (parametri fisici, idrologici e morfologici) ed elementi biologici (rapporto dell'indicatore biologico della specifica misurazione rispetto al valore dello stesso indicatore in condizioni di riferimento).

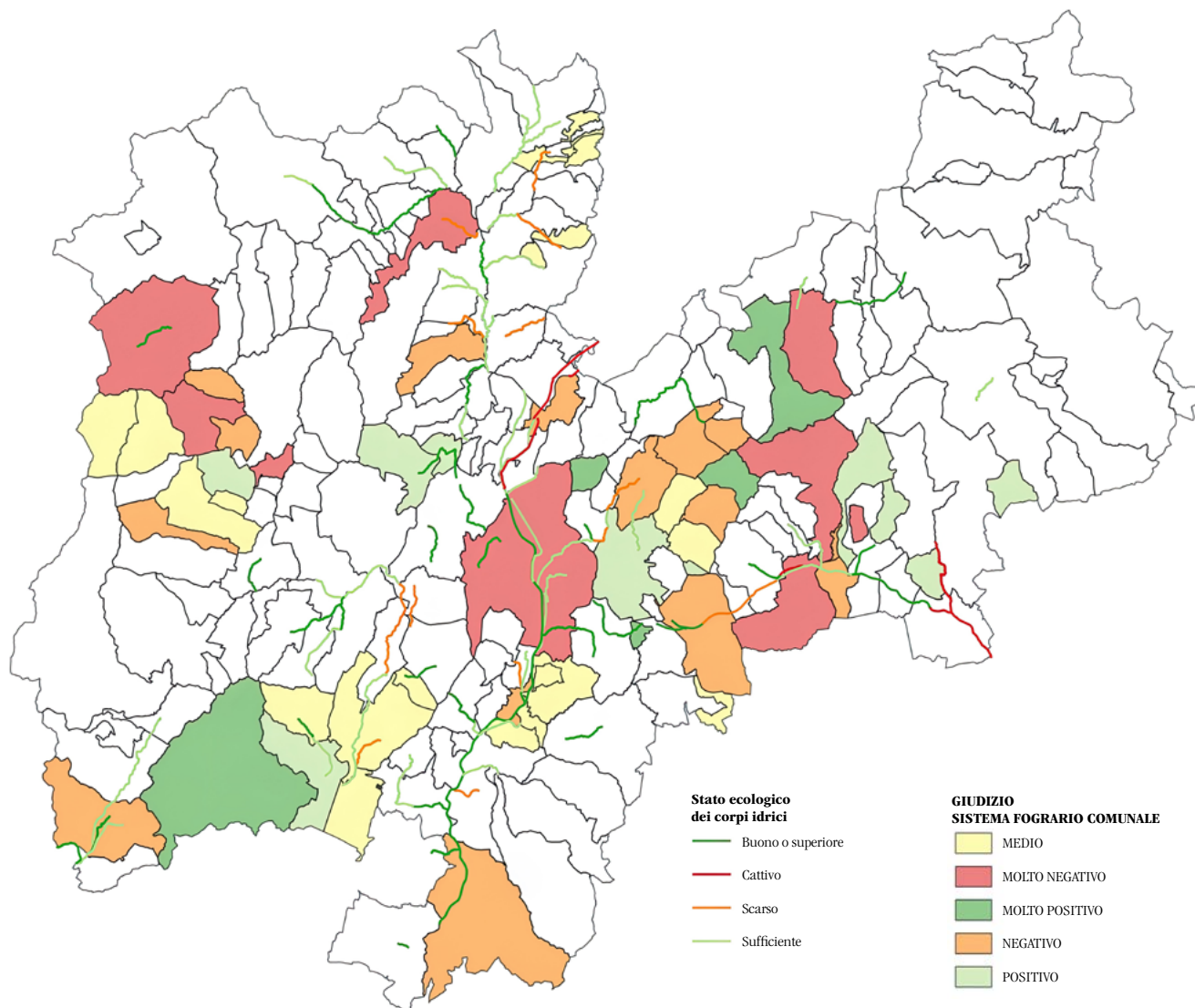
Oltre alle pressioni dovute agli scarichi civili, che rientrano tra quelle a carattere puntuale (le pressioni puntuali da sole rappresentano il 25% del totale delle pressioni rilevate sui corpi idrici fluviali), sui corsi d'acqua trentini si registrano altre pressioni significative, in primis quelle diffuse (17,2%) legate alle pratiche agricole, quelle di tipo idromorfologico (32,8%) e quelle dovute ai numerosi prelievi idrici (14,2%), che vanno a incidere sulla qualità delle acque.

Anche se il contributo degli scarichi fognari può non risultare determinante al fine di un miglioramento dello stato ecologico, è comunque uno degli elementi su cui è possibile e doveroso intervenire.

#### 5. Conclusioni

I dati raccolti mostrano che, nonostante gli sforzi sostenuti per lo sdoppiamento completo delle reti fognarie, si trovano ancora situazioni di malfunzionamento, interferenze o errato collegamento delle reti (pozzetti in cui le acque bianche finiscono nelle nere e viceversa): queste situazioni, anche se non numerose, rischiano di vanificare i benefici derivanti dall'aver separato negli anni la fognatura bianca dalla nera.

Si è visto che in molte aree l'impatto degli scarichi fognari rimane comunque non trascurabile anche dove è presente una rete sdoppiata perfettamente funzionante collegata ad un efficace sistema di depurazione biologico. Infatti, una quota significativa degli edifici civili (pari al 13%) è risultata scorrettamente allaccia-



**Figura 4.** Mappa dei Comuni verificati (con giudizio globale del sistema fognario comunale) e dello stato ecologico dei corpi idrici.

ta alle reti fognarie bianche e nere, ed è quindi fonte di inquinamento (con diverso grado di gravità) per corpi recettori.

È importante quindi porre maggior attenzione alle fasi di progettazione e costruzione delle reti fognarie e degli edifici, in particolare nelle fasi di esecuzione dei lavori di posa delle tubazioni e di allacciamento delle utenze. A tal riguardo il processo di collaudo e di rilascio delle autorizzazioni allo scarico in pubblica rete fognaria dovrebbero essere maggiormente controllati, in modo da poter sanare eventuali lacune in modo preventivo. Vanno quindi considerate da parte degli enti gestori misure atte a mantenere funzionali l'intero sistema di rete fognaria: l'opportunità di togliere dove possibile i bypass che mettono in comunicazione, durante eventi di pioggia intensi, i ramali di acque bianche con quelle di acque nere; l'inserimento di eventuali impianti di sollevamento dove le pendenze siano troppo piccole per il corretto deflusso dei reflui;

la puntuale manutenzione di pozzetti e condotte; il mantenimento dei chiusini in quota per evitare che i pozzetti non siano più ispezionabili. Infine, si ritiene importante che l'attività di ricognizione degli scarichi possa estendersi ai Comuni e alle reti che ad oggi non sono ancora stati oggetto di verifica. ■

### Riferimenti bibliografici

- Rimoldi P. (2010) Ingegneria idraulica urbana. Acquedotti e fognature. Manuale-tecnico pratico per la progettazione e la realizzazione delle opere. Maggioli Editore
- AA.VV. (2021) Piano di Tutela delle Acque 2022-2027. Trento: Provincia autonoma di Trento, APPA
- Deromedis S. (2003) Scarichi Fognari. In: Bortolon A., Deromedis S. e Uez C. (a cura di) Territorio, si consideri indagato! Trento: Provincia Autonoma di Trento, 56-86



# IL DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI RACCOLTA PORTA A PORTA PER IL CONSEGUIMENTO DEGLI OBIETTIVI DELL'ECONOMIA CIRCOLARE NELLA GESTIONE DEI RIFIUTI

Silvio Ascoli<sup>1,\*</sup>, Chiara Pagano<sup>1</sup>, Raffaella Pomi<sup>2</sup>, Alessandra Poletti<sup>2</sup>, Anna Proietti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ABC Azienda Beni Comuni di Latina, Latina

<sup>2</sup> DICEA-La Sapienza Università di Roma, Roma

## Sommario

Nel presente lavoro si vuole illustrare il processo di dimensionamento di un servizio di raccolta dei rifiuti "porta a porta" finalizzato all'introduzione di un sistema di tariffazione puntuale nel Comune di Latina, caratterizzato da una bassa produzione pro-capite di rifiuti differenziati e da diversi livelli di urbanizzazione. L'obiettivo dello studio è la definizione dei parametri che servono per stabilire i giri di raccolta che gli automezzi debbono fare per effettuare il servizio.

Uno dei risultati più interessanti del presente lavoro è rappresentato dal tempo esiguo che un sistema di raccolta porta a porta ben dimensionato richiede per raggiungere

importanti risultati migliorativi di raccolta differenziata. L'articolo si integra con l'illustrazione dei dati di concreta attuazione del modello avviato nel marzo 2021, che durante la fase di attivazione ha affrontato delle difficoltà nel calarsi nella realtà, come ogni modello che ha bisogno di assestarsi, ma poi ha mostrato essere un buono spunto per chi vuole migliorare i flussi dei rifiuti raccolti sia in termini qualitativi ma anche come quantità da mandare a recupero.

**Parole chiave:** *raccolta; rifiuti; differenziata; porta a porta; gestione integrale; tariffazione puntuale.*

## THE SIZING OF THE DOOR-TO-DOOR COLLECTION SYSTEM IN THE SECOND CITY OF LAZIO FOR THE ACHIEVEMENT OF THE OBJECTIVES OF THE CIRCULAR ECONOMY IN WASTE MANAGEMENT AND THE PREPARATION FOR PUNCTUAL PRICING

### Abstract

This paper illustrates the methodological approach followed for designing and implementing a door-to-door collection service for urban and assimilated waste produced in the Municipality of Latina (126.151 inhabitants in 2017). The territorial context is characterised by the high variability of the urban types. In particular, three types can be distinguished: urban areas, with vertical development of buildings and high population density; rural areas characterised by villages and low urban density; coastal areas, partly urbanised and partly within the Circeo natural park. The area of the municipality is 277 km<sup>2</sup> and has a coastline of 12 km<sup>2</sup>. At a morphological level, the municipal territory is mainly flat, and this certainly helps in the management of the collection system.

Through the appropriate integration of different tools, the territory was divided into homogeneous areas, so to identify the most appropriate collection methods according to the specific characteristics of each area (or groups of homogeneous areas) and to draw up a timetable for the gradual transition from the existing curbside collection system to the door-to-door system.

In particular, since the territory is large with a considerable number of inhabitants, the implementation of the new collection service was designed as a stepwise process so as to manage the territory in the best possible way and to correct the model, if necessary, after an initial start-up phase. In order to identify the boundaries between neighbouring areas which, during the transition period, are served with different collection methods (e.g., door-to-door vs. curbside collection), physical barriers were identified, including main roads or canals. To reduce the input of waste from people from other cities, it was decided to apply this new method in the main access points of the city.

Following an in-depth territorial analysis and the identification of the most appropriate design parameters, the study aimed to define the vehicle collection routes for each homogeneous areas and the consequent estimate

\* Per contatti: Via dei Monti Lepini 44/46, località Borgo San Michele, 04100 Latina (LT). Tel. 0773/26291. [silvio.ascoli@abclatina.it](mailto:silvio.ascoli@abclatina.it)

Ricevuto il 3-1-2022. Modifiche sostanziali richieste il 13-2-2022. Correzioni richieste il 4-7-2022. Accettazione il 11-7-2022.

of the required teams of operators, as well as the rotation of these. The study was completed by a field monitoring phase of the new system, which allowed to calibrate the parameters chosen in the design phase.

One of the most interesting results obtained in this work is the very short timeframe required by a well-dimensioned door-to-door system to achieve the high separate collection targets imposed by the legislation.

The objective scenario of the Lazio Regional Waste Management Plan (PRGR) is defined as I (minimal): reduction of waste production by 5% in 2025; increase in the level of biodegradable interception to 77 kg/inhabitant year and 456.55 t/year in 2025; annual increase in %RD to 70%

in 2025; achievement of 63% net effective recycling in 2025. In this case, in fact, the fraction of urban waste collected separately exceeds the targets set by the current Regional Plan already after the first month the new collection service was put in place.

Even more positive results will be seen as soon as punctual pricing is implemented, with which users will be made more responsible but also rewarded for their virtuous behaviour.

---

**Keyword:** *collection; source-separated waste; door-to-door; integrated management; punctual pricing.*

---

## 1. Introduzione

La conoscenza del territorio per raggiungere gli obiettivi di una buona gestione dei rifiuti è imprescindibile, ed è quindi indispensabile reperire dati e informazioni rappresentativi dell'effettiva realtà. Lo sviluppo demografico della città di Latina, la seconda città del Lazio dopo Roma per numero di abitanti, è stato molto elevato durante tutta la sua recente storia e il dato negativo riguarda la quantità di rifiuto pro-capite differenziato prodotto dagli abitanti di Latina; rispetto ad una media per il centro Italia di 278 kg/abitante anno, nel comune di Latina è di soli 126 kg/abitante anno. Per le ragioni appena accennate l'Azienda per i Beni Comuni di Latina, Azienda Speciale pubblica costituita dal Comune di Latina nel 2018, ha incaricato la società trevigiana Contarina S.p.A. di sviluppare il Piano Industriale per l'implementazione del servizio integrato di gestione rifiuti basato su un servizio "porta a porta con applicazione della tariffa puntuale". L'obiettivo è quello di passare dal 76% di rifiuto indifferenziato nel 2018 al 30%, in linea con il Piano Regionale Gestione Rifiuti (Regione Lazio, 2020). Sulla base di quanto acquisito dal Piano Industriale si è potuto costruire il dimensionamento dei giri di raccolta e la conseguente stima delle squadre necessarie per effettuarla.

Gli aspetti positivi osservati a seguito dell'introduzione della raccolta porta a porta riguardano, in primo luogo, una efficace responsabilizzazione degli utenti, i quali debbono imparare a conciliare la produzione delle diverse frazioni di rifiuto con il calendario di raccolta ed a sviluppare una capacità di stoccaggio di rifiuto presso la propria abitazione. Ciò fa sì che gli utenti si interrogino maggiormente sui quantitativi di rifiuto prodotto, arrivando anche a modificare il proprio comportamento e le abitudini di acquisto. In secondo luogo, gli utenti sono chiamati a mantenere in condizioni adeguate i contenitori per la raccolta, provvedendo alla

pulizia e alla manutenzione ordinaria. Si può infine osservare che solo attraverso la raccolta porta a porta si riescono a garantire elevate rese, sia in termini quantitativi che qualitativi, di separazione alla fonte del rifiuto, e dunque l'ottenimento di flussi caratterizzati da una elevata purezza. Quest'ultima caratteristica valorizza il rifiuto in termini di recupero del materiale ma anche in termini economici e la raccolta monomateriale è particolarmente efficace a tale scopo.

Da ultimo, obiettivo della raccolta porta a porta è la riduzione del fenomeno degli abbandoni su suolo pubblico.

## 2. Inquadramento del servizio di raccolta dei rifiuti nel comune di Latina

In precedenza, la raccolta dei rifiuti nel Comune di Latina era gestita con un triplo sistema: nel centro storico, raccolta stradale ad utenza generalizzata con cassonetti destinati alle frazioni della multimateriale pesante (plastica/metalli/vetro), carta e cartone, umido e indifferenziata; fuori dal centro storico: raccolta stradale ad utenza generalizzata con cassonetti destinati alle frazioni dell'umido e indifferenziato unitamente al conferimento in sacchi a terra per le frazioni della multimateriale pesante e carta; in aree più periferiche caratterizzate da borghi e zone a bassa urbanizzazione: porta a porta gestito in maniera non omogenea per le utenze contenitori e/o sacchi per le varie frazioni di rifiuto.

Il vecchio metodo ha determinato continui abbandoni di rifiuti sul suolo fuori dagli orari e dai giorni definiti dal calendario, influenzando negativamente sul decoro urbano.

Inoltre, Latina è circondata da comuni in cui è attivo il servizio di Porta a Porta spinto ed essendo una città che vive molto di pendolarismo, accusa molto il fenomeno della migrazione dei rifiuti da parte di chi

approfitta dello spostamento verso Latina per usufruire dei cassonetti stradali e sfuggire dalla responsabilità che avrebbe nell'attuare una corretta differenziata dei rifiuti nel proprio comune di residenza.

Il nuovo metodo di raccolta invece prevede un'omogenizzazione di servizio, ovvero tutto il territorio servito dallo stesso sistema di raccolta porta a porta, nel quale le esigenze differenti e la tipologia di utenza (domestica e non domestica) da zona a zona vengono gestite consegnando un differente kit di contenitori (mastelli da 30 litri o carrellati di diversa volumetria da 120 litri in su) e seguendo calendari differenti (frequenze di raccolta alte o basse).

Per quanto riguarda i mezzi, nel vecchio metodo venivano utilizzati prevalentemente mezzi di grande volumetria a carico posteriore (17-26 m<sup>3</sup>) e compattatori a carico laterale (26 m<sup>3</sup>), entrambi utilizzati con doppio operatore. Invece, nel nuovo metodo si prevede che il servizio venga effettuato con mezzi più piccoli (vasche da 8 m<sup>3</sup>) a carico posteriore con mono-operatore, guida a destra e cabina ribassata. I mezzi piccoli fungono da "satellite" in quanto snelli e di piccole dimensioni, e successivamente conferiscono in semirimorchi da 50 m<sup>3</sup> compattanti, quest'ultimi predisposti sul territorio e pronti una volta pieni per il successivo trasporto agli impianti. In questo modo si riescono senz'altro ad ottimizzare costi e tempi di trasporto verso l'impianto, in quanto invece di avere una elevata flotta che si muove per lunghe tratte, saranno solo i mezzi grandi a farlo.

Per apprezzare quanto espresso precedentemente, si riporta in Figura 1 un confronto tra il vecchio metodo (prima fila di immagini) e quello nuovo (seconda fila di immagini) per quanto riguarda mezzi utilizzati tipologie di contenitori, rapporto uomo-mezzo, da due a monoperatore.

### 3. Dimensionamento

#### 3.1. Analisi del territorio

##### 3.1.1. Analisi del contesto territoriale ed urbanistico

Il comune di Latina si estende per una superficie di circa 277 chilometri quadrati, secondo i dati Istat 2018 ha circa 126 mila abitanti e ha densità abitativa di 455 abitanti per km quadrato. Il tessuto urbano della città si distingue in tre tipologie: aree urbane con sviluppo degli edifici in senso verticale ed elevata densità abitativa, aree rurali caratterizzata da borghi e da zone a bassa urbanizzazione; area litorale, in parte urbanizzata ed in parte all'interno del parco naturale del Circeo. Quest'ultima si estende per circa 12 km<sup>2</sup>. A livello morfologico, il territorio del comune è prevalentemente pianeggiante.

##### 3.1.2. Censimento delle utenze domestiche e non domestiche

Dopo aver proceduto a georeferenziare con Qgis (software GIS, Geographic Information System) le utenze domestiche (52.830) e non domestiche (7.900) si è evinto come la loro distribuzione sul territorio comunale presenti un'aggregazione di edifici nelle zone dei principali centri abitati della città e minore presenza fuori dal centro urbano, con addensamento lungo gli assi viari (Figura 2).

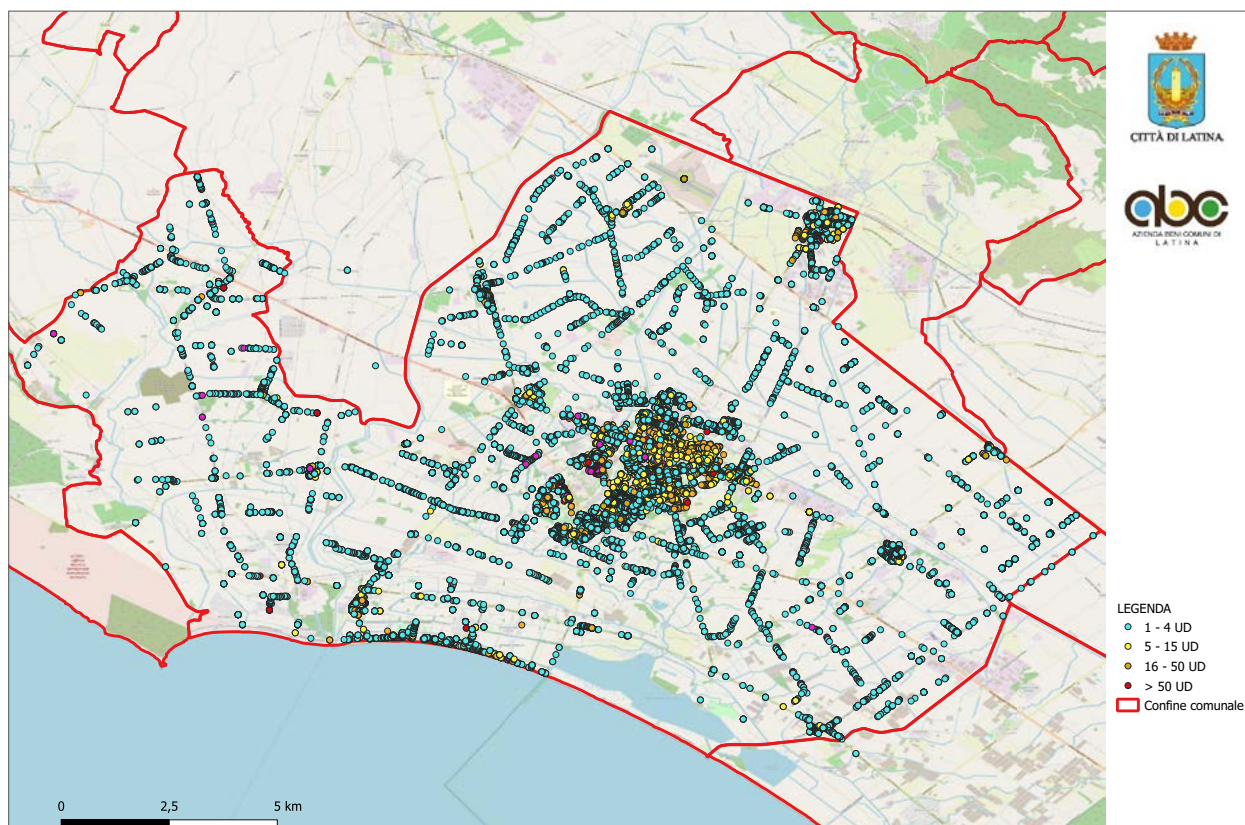
Il rapporto tra gli abitanti residenti e le utenze domestiche è pari a 2,39.

##### 3.1.3. Suddivisione del territorio

Si è diviso il territorio in tre aree in ognuna delle quali far partire il nuovo servizio in un momento differente. La scelta è stata dettata dall'estensione del territorio e dall'elevato numero di abitanti. La partenza graduale permette di correggere i parametri e far asse-



**Figura 1.** Confronto tipologia mezzi e contenitori: vecchio metodo (prima fila) e nuovo metodo (seconda fila).



**Figura 2.** Esempio di georeferenziazione di utenze domestiche sull'intero territorio comunale.

stare il modello costruito rendendo il tutto più funzionante. Il territorio è stato diviso in maniera da avere in ogni fase un numero di utenze confrontabili e di avere in ogni fase di avvio sia zone ad alta densità abitativa che a bassa densità abitativa. Inoltre, la suddivisione del territorio è avvenuta sfruttando limiti fisici quali strade o canali principali (Figura 3). Una volta porzionato il territorio comunale, si è scelta la progressione di avvio nelle varie zone e si è scelto di iniziare in quelle di principale accesso alla città al fine di ridurre sin da subito, l'eventuale apporto esterno di rifiuti dai comuni limitrofi, ed eliminare dall'ordinario servizio squadre destinate al riassetto della città, ossia tutte quelle operazioni di pulizia che consentono un ripristino di un ordine manomesso (Tabella 1).

### 3.2. Produzione rifiuti attesa

Alla base del dimensionamento c'è l'analisi della produzione di rifiuti. In Tabella 2 è mostrata la produzione di rifiuti del comune di Latina nell'anno 2018 e la previsione a regime, considerando la riduzione del secco dal 76% al 30% (da 52.000 tonnellate a 18.500) e una riduzione della produzione totale pro capite da 549 a 493 kg/ab per anno.

### 3.3. Stima dei parametri di progetto

#### 3.3.1. Produzione di rifiuto

Il primo parametro di progetto è la quantità di ri-

fiuto prodotto dall'utenza domestica e non domestica.

Partendo dai dati di produzione di rifiuti attesi di Tabella 2, si è scomposta la quota parte prodotta dall'utenza domestica e la quota parte prodotta dall'utenza non domestica. Si è partiti dal calcolo dell'utenza non domestica seguendo il metodo esposto nel DPR 158/99 che tratta della definizione della tariffa dei rifiuti.

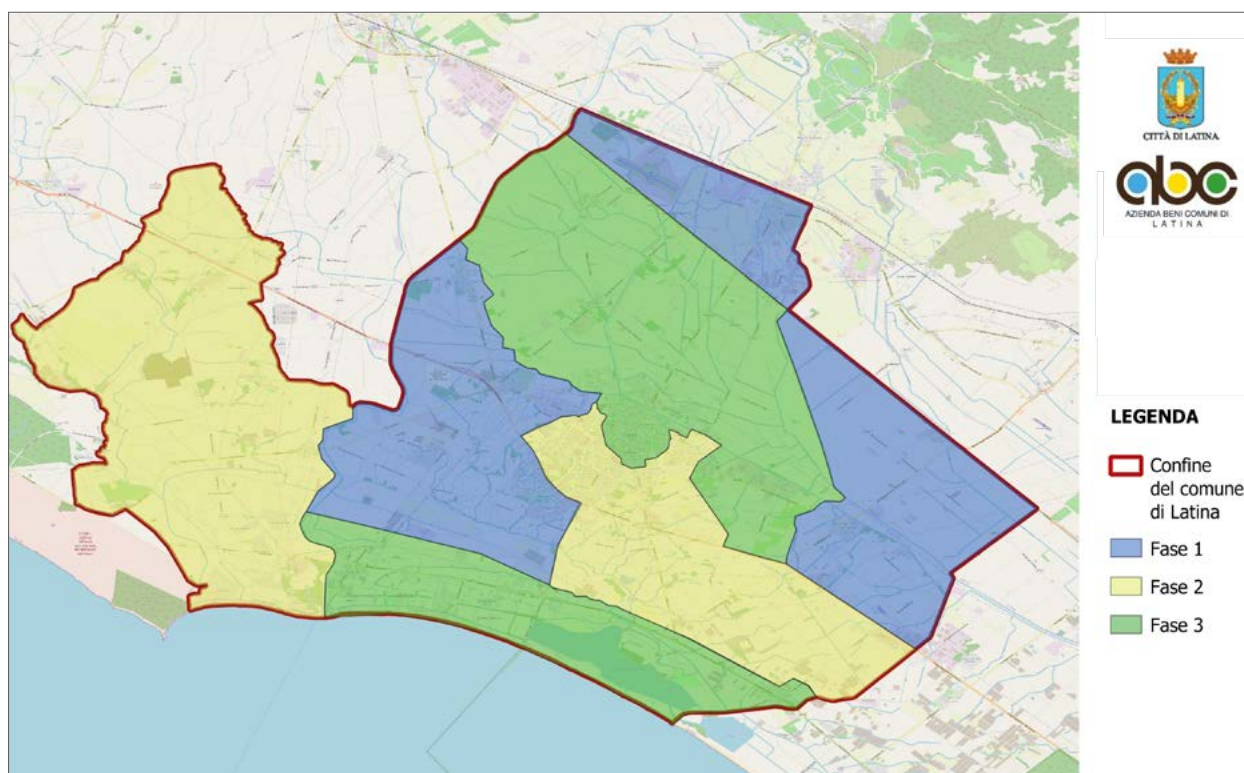
Il metodo utilizza il coefficiente di produttività,  $k_d$ , attribuito ad una determinata tipologia di attività. La normativa di riferimento divide i comuni in base agli abitanti e alla loro posizione geografica (ANPA, 2011). Latina ricade tra i 'comuni sopra i 5.000 abitanti-centro' e per la progettazione si è scelto un valore di  $k_d$  medio.

Calcolata la produzione totale di rifiuti da parte di un'utenza non domestica:

$$Q_{und} = \sum K_{d(ap)} * S_{tot(ap)}$$

dove:

- $Q_{und}$  = quantità di rifiuti (kg) complessivamente prodotta dalle utenze non domestiche
  - $K_{d(ap)}$  = coefficiente di produttività
  - $S_{tot(ap)}$  = superficie complessiva imponibile
- questa è stata poi suddivisa nelle diverse frazioni merceologiche, sulla base della dei dati forniti da ANPA (Tabella 3) sulla percentuale di composizione merceologica media per tipologia di utenza: ristorazione, commercio alimentare, commercio non alimentare e ufficio/scuole. Una volta ottenuta la produzione di ri-



**Figura 3.** Planimetria “Fasi di avanzamento del servizio di Porta a Porta”. Suddivisione del territorio in tre aree.

**Tabella 1.** Quadro di mezzi e personale necessari per poter fornire un servizio di riassetto della città.

TIPO	Frequenza giorni/ settimana	Ore Lavorative	MEZZI						PERSONALE			
			tipo	unità impiegate	gg. Intervento settimana	gg. Intervento annuo	ore effett. Giornaliere	ore effettive annue	qualifica	unità impiegate	gg. Intervento annuo	
Servizio di riassetto centro città												
6/7 feriale	6	6	mini compattatore 10 mc	1	6	303	6	1818	Autisti IV livello	1	303	
Territorio comunale												
notturno	6/7 feriali	6	compattatore posteriore 22-24 mc	2	6	303	12	3636	Autisti IV livello	2	303	

**Tabella 2.** Produzione di rifiuti del comune di Latina nell'anno 2018 e previsione a regime

TIPOLOGIA RIFIUTO	LATINA 2018			PREVISIONE a regime		
	Kg/ab.	%	attuali flussi ton	Kg/ab.	%	previsione ton
CARTA E CARTONE	27,0	4,9%	3.381	59	11,96%	7.375
IMBALLAGGI IN MATERIALI MISTI	32,9	5,98%	4.107	57	11,56%	7.125
UMIDO	32,6	5,93%	4.072	120	24,33%	15.000
VEGETALE	11,1	2,01%	1.381	34	6,89%	4.250
VETRO	3,4	0,61%	421	30	6,08%	3.750
SECCO	417,5	76,0%	52.189	148	30,01%	18.500

fiuti per ogni utenza non domestica e per ogni tipologia di materiale da essa prodotta, si è scelto di abbassare i risultati ottenuti per tener conto del flusso di materiale che erroneamente si separa e quindi per av-

vicinarci alla reale capacità di intercettazione di una data frazione merceologica. Infatti, ogni flusso di rifiuto ha una certa purezza ovvero una certa percentuale di rifiuto intercettato correttamente. Ad esempio,

**Tabella 3.** Composizione merceologica per tipo di utenza (fonte: ANPA, 2011)

% composizione merceologica media per tipologia di utenza				
Materiali	ristorazione	commercio alimentare	commercio non alimentare	uffici scuole
carta	7	10	32	41
cartone	6	11	40	31
organico	58	57	3	3
plastica	4	8	19	19
vetro	22	7	3	3
metalli	2	3	1	1
altro	1	4	2	2
totale	100	100	100	100

nella categoria ristorazione, del 58% dell'organico si è ipotizzato di intercettare correttamente il 75% di esso quindi nei calcoli la composizione merceologica media effettiva considerata sarà 44% anziché 58%. La produzione per ogni frazione per ogni attività è pari al prodotto tra la quantità di rifiuto totale e la percentuale merceologica effettiva.

Dal totale rifiuti (viene sottratta la produzione delle utenze non domestiche ottenendo la produzione delle utenze domestiche distinta per frazione (Tabella 4).

$$Q_{tot} = Q_{ud} + Q_{und}$$

### 3.2.2. Coefficiente di esposizione

Il secondo parametro di progetto è il coefficiente di esposizione, strettamente legato alla quantità di rifiuto prodotto, definito come il rapporto tra il numero medio di contenitori esposti in un giorno di raccolta ed il numero totale dei contenitori in quella zona. Questo parametro dipende sia dalla volumetria messa a disposizione all'utenza che dalla frequenza di raccolta.

Per calcolarlo quindi si è proceduto come segue:

$$V_r = \frac{p_{RSU}}{\gamma_{RSU}}; V_{rd} = V_d * f; C_{e_{min}} = \frac{V_r}{V_{rd}}; C_p = C_{e_{min}}$$

dove:

- $V_r$ : vol. rifiuti prodotti anno per utenza [l/anno-utenza]

- $p_{RSU}$ : tot. rifiuti prodotti anno per utenza [kg/anno-utenza]
- $\gamma_{RSU}$ : peso specifico rifiuto [kg/l]
- $V_{rd}$ : vol. di raccolta disponibile [l/anno-utenza]
- $V_d$ : vol. disponibile di progetto [l] = vol. contenitore [l] · coef. riempimento
- $f$ : frequenza di raccolta settimanale
- $C_p$ : coefficiente di esposizione di progetto
- $C_{e_{min}}$ : coefficiente di esposizione minimo arrotondato al multiplo più vicino di 0,1;

Si riporta in Tabella 5 uno stralcio del foglio di calcolo del coefficiente di esposizione per le frazioni di umido e plastica/metalli.

### 3.3.3. Produttività delle squadre

Il terzo parametro di progetto è la produttività delle squadre, ovvero il numero di prese e quindi svuotamenti effettuate in un turno lavorativo da un operatore.

Questo parametro dipende molto sia dalla tipologia di tessuto urbano della zona in cui si effettua il servizio di raccolta sia dalla tipologia del contenitore che ha a disposizione l'utente, in quanto se di grande volumetria deve essere agganciato e sollevato dal mezzo con cui si effettua la raccolta (tempi legati alla macchina), se di piccola volumetria viene svuotato più agevolmente in una vaschetta posteriormente al mezzo, la

**Tabella 4.** Produzione di rifiuto utenze domestiche (UD)/non domestiche (UND).

Tipologia rifiuto	PREVISIONE a regime			ton/anno UND	ton/anno UD	% UND	% UD	kg UD/ab.
	kg/ab	%	previsione ton					
Umido	120	24%	15.000	2.488	12.512	17%	83%	100
Plastica	57	12%	7.125	1.908	5.217	27%	73%	42
SNR	148	30%	18.500	4.504	13.996	24%	76%	112
Vetro	30	6%	3.750	994	2.756	27%	73%	22
Carta	44	9%	5.550	3.835	1.714	69%	31%	14
Cartone	15	2,96%	1.825	1.788	37	98%	2%	0,3
Vegetale	34	7%	4.250	1.275	2.975	30%	70%	24

**Tabella 5.** Esempio di calcolo del coefficiente di esposizione per le frazioni di umido e plastica/metalli.

Frazione	Area	Totale rifiuti prodotti anno per abit. [kg/anno*abit]	Totale rifiuti prodotti anno per ut. dom [kg/anno*ut.]	Peso specifico rifiuto [kg/l]	Volume rifiuti prodotti anno per utenza dom. [l/anno*ut]	Volumetria contenitore [l]	Volumetria disponibile di progetto [l]	Giorni racc./sett	Volume di raccolta disp. [l/anno*ut]	Coeffic. di esposiz. minimo	Coeffic. di esposiz. di progetto
UMIDO	Area Intensiva e plus	100	238	0,4	596	23	21	3	3285	0,18	0,2
UMIDO	Area Standard	100	238	0,4	596	23	21	2	2190	0,27	0,3
PLASTICA	Area Intensiva e plus	42	99	0,03	3311	30	27	3	4223	0,78	0,8
PLASTICA	Area Standard	42	99	0,03	3311	120	108	1	5631	0,59	0,6

quale viene ribaltata all'interno del mezzo solo quando piena.

Per calcolare la produttività delle squadre è stata quindi utilizzata la seguente equazione:

$$P = \frac{t_{disp}}{t_{ef}} = \frac{(t_{turno} - 2 * t_{tr} - n * t_{sv})}{t_{ef}}$$

dove:

- $P$ : produttività delle squadre [ $n^\circ$  prese/turno]
- $t_{disp}$ : tempo a disposizione [s] «differenza tra le ore di lavoro giornaliero ed il tempo impiegato per trasferimenti e soste»
- $t_{turno}$ : durata turno di lavoro [s]
- $t_{tr}$ : tempo di trasferimento [s]
- $t_{sv}$ : tempo di svuotamento della vasca [s]
- $n$ : numero di svuotamenti della vasca [s]
- $t_{ef}$ : Tempo di effettivo lavoro [s/presa] «tempo necessario allo svuotamento di un contenitore ed il trasferimento alla postazione successiva»

Si è calcolato il rapporto tra il tempo a disposizione, ovvero la differenza tra le ore di lavoro giornaliero ed il tempo impiegato per trasferimenti e soste, e il tempo effettivo, quello necessario allo svuotamento di un contenitore ed al trasferimento alla postazione successiva. Quest'ultimo tempo è stato stimato direttamente su campo, andando ad analizzare una simulazione di servizio in aree con diverso tessuto urbano (Tabella 6).

### 3.4. Calcolo numero di squadre e definizione dei calendari

Il numero di squadre necessarie per effettuare il servizio di raccolta in una data zona è stato stimato con la seguente formula:

**Tabella 6.** Tempo di effettivo lavoro misurato su campo [secondi]

Tipologia rifiuto	Tempo di effettivo lavoro UD			UND
	Plus	Intensiva	Standard	
Umido	35	35	70	75
Plastica	35	35	80	75
SNR	35	35	75	75
Vetro	35	35	80	75
Carta	35	35	75	75

$$N_q = \frac{N_{ut} * C_e}{P}$$

dove:

- $N_q$  = numero di squadre necessarie per zona
- $N_{ut}$  = numero di utenze domestiche / non domestiche della zona
- $C_e$  = coefficiente di esposizione
- $P$  = produttività delle squadre [prese/turno]

Il numero di squadre occorrenti in una data zona e per una data frazione merceologica è quindi ottenuto dal rapporto tra il numero di utenze domestiche/non domestiche, corretto con il coefficiente di esposizione, e la produttività delle squadre.

Il territorio è stato diviso in tante zone, stabilendo per ognuna la tipologia di servizio (frequenza) e il numero delle utenze; è stato quindi effettuato il calcolo tonnellate/giorno, volume/giorno, prese/giorno per ogni frazione per ogni zona, nonché il calcolo del numero di squadre, ottimizzato accorpando le zone adiacenti e poi arrotondato per eccesso.

### 3.5. Definizione dei giri di raccolta

Una volta ottenuto il numero di squadre necessario per effettuare il servizio, si è passati a definire i giri di raccolta. Per farlo si deve dividere il territorio in maniera omogenea sia dal punto di vista delle utenze che per difficoltà di servizio (tipo di viabilità, presenza di aree ad accesso limitato, ecc.), al fine di distribuire il più equamente possibile il carico di lavoro alle squadre.

### 3.6. Monitoraggio del servizio

#### 3.6.1. Raccolta dati e Taratura dei parametri di progetto

Una volta avviato il servizio si è proceduto con il monitoraggio. Questa fase è essenziale, essendo la raccolta porta a porta un sistema dinamico, in cui molteplici fattori al contorno possono interferire e quindi occorre rivedere in un'ottica critica il dato fino a quel momento teorico e stimato.

Per il monitoraggio è stata introdotta l'automazione del conteggio dell'esposizione del contenitore da parte dell'utente, mediante la tecnologia della radiofrequenza trasponder. In ogni contenitore è prevista l'installazione di un dispositivo elettromagnetico passivo che funge da trasmettitore di segnale.

L'operatore legge con apposita strumentazione il codice univoco del transponder e tale lettura associa in automatico lo svuotamento del contenitore alla banca dati dove sono presenti tutte le informazioni delle dotazioni fornite alle utenze. Oltre ad un'informazione puntuale sul singolo utente, si ha un'informazione massiva sulle varie aree in cui si sta espletando il servizio; si riesce quindi ad analizzare la distribuzione del carico di lavoro sulle varie squadre e ritrarre lì dove necessario. Inoltre, i mezzi "satellite" quando si svuotano nei semirimorchi da 50 m<sup>3</sup>, trasmettono il peso, potendo così permettere un'analisi del rifiuto raccolto per zona.

Con il monitoraggio si possono eventualmente rimodulare i parametri di progetto e quindi ottimizzare il numero di squadre necessarie per eseguire il servizio di raccolta, inoltre è possibile la bollettazione a tariffa puntuale secondo il principio «chi inquina paga».

## 4. Costi

Sono riportati in Tabella 7 e Tabella 8 i dati di dettaglio sui costi del servizio. In particolare, nella prima tabella è fornito un quadro globale rappresentante i costi/ricavi derivanti dal trattamento/smaltimento a regime di tutti i rifiuti (anche quelli non rientranti nel porta a porta, esempio ritiro ingombranti).

**Tabella 7.** Costi e ricavi trattamento / smaltimento a regime.

	Ton/Anno	COSTI €/ton	RICAVI €/ton	TOT COSTI	TOT RICAVI	DELTA (RICAVI-COSTI)
ALTRO	405					-
CARTA/ CARTONE	7.375	22	70	159.521	516.250	- 356.729
FARMACI	17	980		16.834		16.834
FERRO E METALLI	625		170		106.250	- 106.250
IMBALLAGGI IN MATERIALI MISTI (€ multileggero)	7.125	80	290	570.000	2.066.250	- 1.496.250
LEGNO	1.000	54	4	54.000	4.100	49.900
OLI	34				-	-
PILEACCUMULATORI	25				-	-
PLASTICA	344	50		17.178	-	17.178
PNEUMATICI	34	220		7.558	-	7.558
RAEE	500		70		35.000	- 35.000
RIFIUTI DA COSTR./DEMOL	1.875	7		13.125	-	13.125
TF	1	700		630	-	630
TONER	0	700		140	-	140
UMIDO	15.000	130		1.950.000	-	1.950.000
VEGETALE	4.250	20		85.000	-	85.000
VETRO	3.750		42		157.500	- 157.500
RUP	95	940		89.300	-	89.300
INGOMBRANTI	687	200		137.420	-	137.420
INDIFFERENZIATO	18.510	154		2.856.093	-	2.856.093
<b>TOTALE</b>	<b>61.653</b>					<b>3.071.449</b>



**Tabella 8.** Costi suddivisi per tipo di servizio.

DESCRIZIONE VOCI DI COSTO		Euro/	Euro/ab
COSTI RACCOLTA PORTA A PORTA		10.036.968 €	79,36 €
Coordinatori + struttura operativa	343.830 €		-
Porta a porta - borghi e zone rurali	2.289.277 €		-
Porta a porta - centro urbana - condomini	1.254.830 €		-
Porta a porta - centro urbana	4.497.348 €		-
Ecobus			-
Ecostop			-
Movimentazione semirimorchi + umido	988.146 €		-
Porta a porta - vetro	663.536 €		-
ATTREZZATURE		980.680 €	7,75 €
Ammortamento attrezzature	519.252 €		-
Costo annuale sacchetti	461.428 €		-
SERVIZIO RAPPORTO CON L'UTENZA		173.226 €	1,37 €
Costo del personale			-
Costo gestione sportelli			-
Distributore sacchetti			-
Call/ center	110.289 €		-
Costi comunicazione	62.937 €		-

Si può notare come la migliore qualità delle frazioni riciclabili portate a trattamento possa determinare maggiori entrate. Si può di conseguenza avere anche una migliore qualità dell'indifferenziato (soprattutto per la minore presenza di organico al suo interno) ed ottenere una riduzione dei costi da parte dell'impianto di destinazione finale. Nel caso del comune di Latina, il costo di trattamento è pari a 154 €/ton.

Nella seguente Tabella 8 sono riportati i costi suddivisi per tipo di servizio: raccolta porta a porta, attrezzature e servizio rapporto con l'utenza. Per quanto riguarda le attrezzature, dopo un investimento iniziale, è stato calcolato l'ammortamento su otto anni.

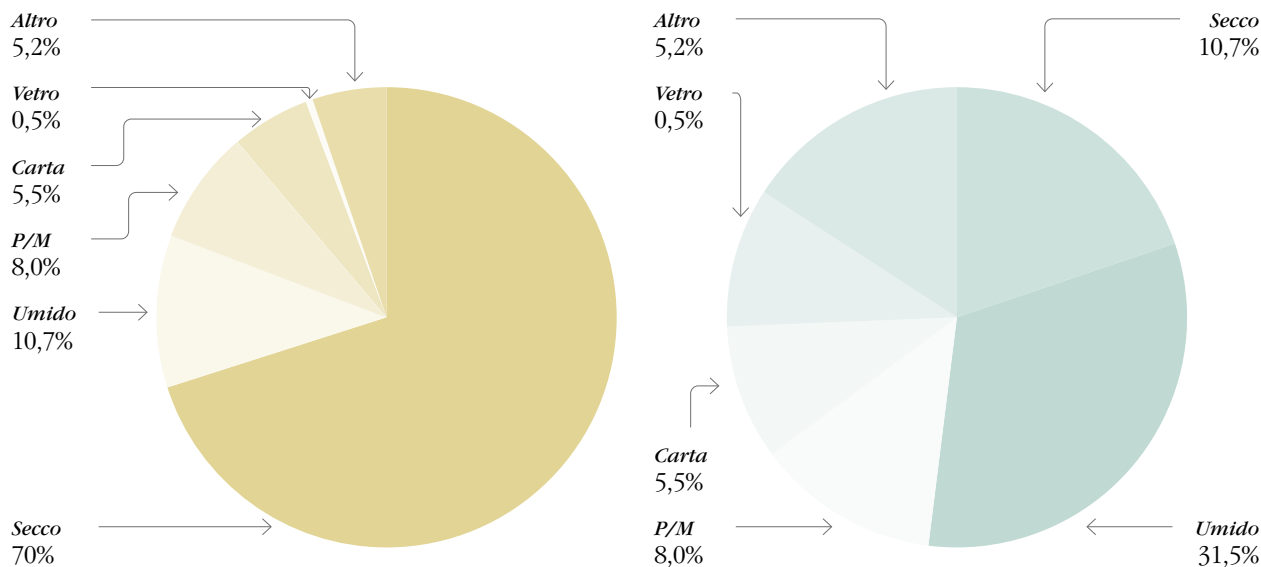
## 5. Risultati

Durante la fase di attivazione del nuovo servizio si sono riscontrate principalmente le seguenti difficoltà: individuazione su mappa dei punti di produzione rifiuto (PPR) a causa di un database di partenza non aggiornato e conseguente complicazione nella distribuzione di attrezzature, sacchi e materiale informativo, come si evince in Tabella 9, dove per ogni zona di consegna si distinguono le utenze domestiche (UD) e quelle non domestiche (UND).

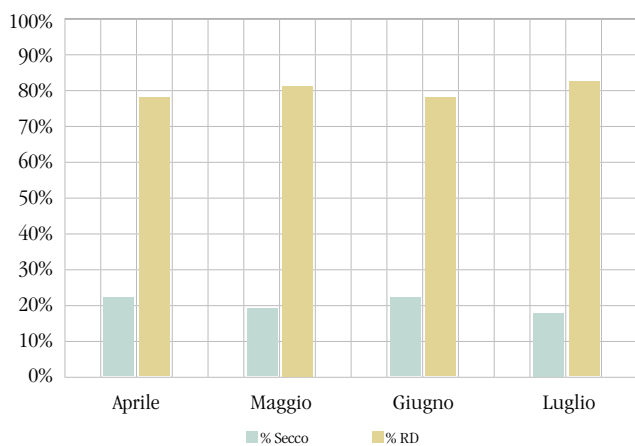
La gestione dei database non aggiornati in tempo reale per questo servizio è sicuramente un problema da risolvere. Nonostante questo, i risultati dell'applicazio-

**Tabella 9.** Problemi riscontrati nella distribuzione di attrezzature, sacchi e materiale informativo in tre zone del Comune di Latina, ad utenze domestiche (UD) ed utenze non domestiche (UND).

Causale di consegna	ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3	
	UD	UND	UD	UND	UD	UND
ATTIVITÀ CESSATA	4	80		9		3
CONSEGNATO	744	194	784	47	1436	89
DATI ERRATI	3	14	3		26	25
IMMOBILE NON TROVATO	3		2			
LASCIATO AVVISO	33	10	24		29	5
RITIRATO DAL TITOLARE		9	1		3	
RITIRATO			2			
TITOLARE DECEDUTO	3		13		29	
UTENZA NON TROVATA	427	143	202	30	1015	479
UTENZA SECONDARIA	12	70	9	9	63	62



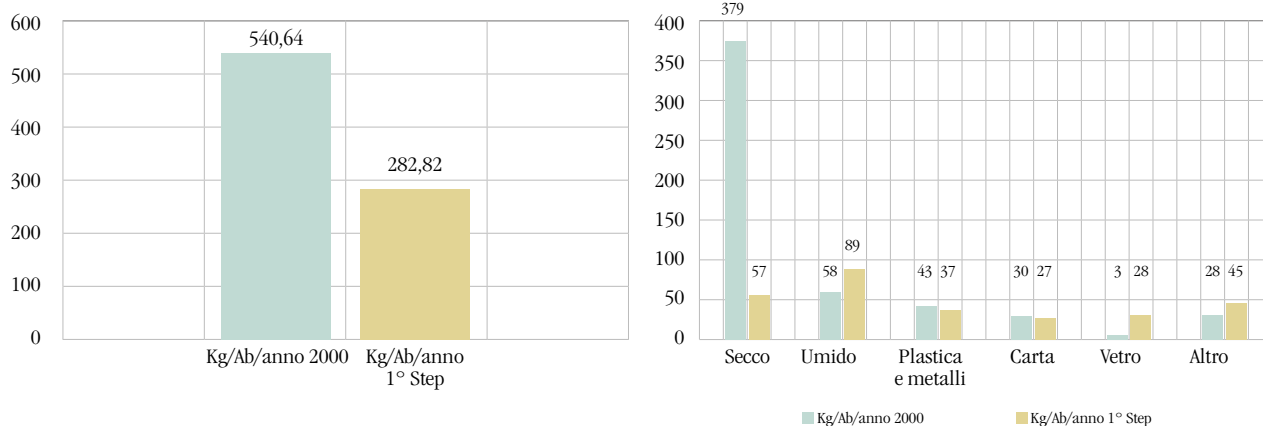
**Figura 4.** Confronto fra le tipologie di materiali nei due servizi di raccolta: a sinistra, anno 2020 – Vecchio servizio su intero comune; a destra Aprile-Luglio 2021 – Nuovo servizio su 1/6 utenze.



**Figura 5.** Confronto della % della frazione di secco non riciclabile con la % totale della raccolta differenziata nelle aree in cui è attivo il Porta a Porta.

ne del nuovo sistema di raccolta illustrato in questo studio sono positivi e a tal proposito si vuole riportare in Figura 4 un confronto tra il vecchio servizio di raccolta su tutto il territorio comunale e il nuovo servizio di raccolta attivato da 4 mesi su 1/6 delle utenze del territorio comunale. In particolare, l'analisi di Figura 4 consente di evidenziare come anche se il servizio di raccolta è stato avviato ad oggi parzialmente sul territorio comunale, già dai primi mesi di avvio le percentuali di raccolta sono state totalmente diverse rispetto all'anno 2020, raggiungendo gli obiettivi del piano industriale, fino in alcuni casi anche a superarli.

In Figura 5 si può osservare come sin dai primi mesi di avvio del nuovo metodo le percentuali di raccolta



**Figura 6.** Produzione pro capite di rifiuti (a sinistra pro-capite totale vecchio e nuovo metodo; a destra pro-capite per singola frazione vecchio e nuovo metodo).

**Tabella 10.** Confronto fra l'analisi merceologica sulla frazione del secco non riciclabile proveniente dal vecchio sistema di raccolta porta a porta e quella derivante dal nuovo sistema (dati ISPRA, 2021).

FRAZIONE	SPECIFICAZIONI	VECCHIO SISTEMA	NUOVO SISTEMA
Organico	Putrescibile da cucina, sfalci e potature	40%	21%
Carta e cartone	Cartoni, imballaggi, carta di giornale	15%	22%
Poliaccoppiati	Imballaggi di cartone poliaccoppiato, altri poliaccoppiati	3,4%	6,7%
Tessili	Abiti e tessuti in cotone, lana, lino, pelle e cuoio e/o fibre sintetiche	5,5%	11%
Tessili sanitari	Cotone idrofilo, assorbenti igienici, pannolini	16%	< 0,05%
Plastica	Plastica in film, imballaggi in plastica, bottiglie e flaconi in materiali plastici	17%	16%
Vetro	Imballi e cocci in vetro	< 0,05%	9,6%
Metalli	Metalli ferrosi e non ferrosi, barattoli, utensili, lattine, fogli in alluminio, vaschette per alimenti, parti metalliche	2,3%	8,2%
Sottovaglio	pezzatura inferiore ai 20mm	0,5%	2,9%
Altre voci	inferiori al limite di quantificazione del metodo analitico utilizzato	< 0,05%	< 0,05%

differenziata siano già elevate, mentre in Figura 6 si evidenzia la diminuzione pro-capite e la buona intercettazione in termini di kg per singola frazione di rifiuto.

In Tabella 10 viene mostrato il confronto dell'analisi merceologica effettuata sulla frazione dell'indifferenziato proveniente dal vecchio sistema di raccolta e sulla frazione del "secco non riciclabile" dal nuovo sistema di raccolta porta a porta. In particolare, si evidenzia la riduzione della percentuale di organico, la quale porta ad un aumento di valore all'indifferenziato in ingresso all'impianto. Si parla di "secco non riciclabile" e non più di "indifferenziato" proprio a sottolineare la riduzione di sostanza organica presente al suo interno. Nel caso del Comune di Latina si è evinto che nel passaggio al nuovo sistema di raccolta porta a porta, oltre ad un miglioramento dei quantitativi di rifiuti portati a recupero, si è migliorata la qualità di quest'ultimi.

Un altro vantaggio a livello di qualità e quindi poi tradotto in un vantaggio economico, è stato decidere di separare "plastica/metalli" dal "vetro", quindi passare da una multimateriale pesante ad una multimateriale leggera. Si è passati dal conferire il rifiuto in impianto a 0 €/t ad avere dei ricavi provenienti sia da "plastica/metalli" sia dal "vetro".

## 6. Conclusioni

Con il sistema di raccolta proposto si possono raggiungere gli obiettivi dettati dal Piano Regionale Gestione Rifiuti, anche in situazioni come quella di Latina in cui partiva da una situazione con il 76% di rifiuto conferito in modo indifferenziato nel 2018. Costruire un buon sistema di raccolta porta a porta, ai fini dell'applicazione di una tariffa puntuale equa e trasparente, premiando chi fa bene la raccolta differenziata, è un cammino lungo e complesso che richiede professionalità e competenze di alto profilo.

Con la raccolta porta a porta i flussi di rifiuti migliorano sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo e questo, di conseguenza, comporta un beneficio economico per il gestore, che permette di migliorare la qualità dei servizi offerti.

I vantaggi del porta a porta sono innumerevoli, prima di tutto si riesce ad avere un controllo capillare del territorio accompagnando il cittadino verso un cambio totale di gestione domestica dei rifiuti. Si riducono drasticamente i cosiddetti rifiuti impropri (televisori, mobili, ecc.) e le micro-discariche nei posti limitrofi in cui ci sarebbero stati i cassonetti stradali. Tutto questo però deve essere necessariamente accompagnato da una seria, massiccia e capillare campagna di informazione che supporti il cittadino in questo profondo cambiamento.

Un comune che insieme al gestore vorrà adottare questa nuova modalità di gestione rifiuti dovrà seguire un percorso a tappe nel corso del quale la scelta dei partner giusti sarà determinante per il successo. ■

## Riferimenti bibliografici

- Regione Lazio (2020) Piano Regionale di gestione dei rifiuti della Regione Lazio - Deliberazione del Consiglio Regionale, 5 agosto 2020, n. 4.
- ANPA (2011) Definizione standard tecnici di igiene urbana, Manuale ANPA 6/2001. <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/definizione-di-standard-tecnici-nei-servizi-di>
- DPR158/99 *Regolamento recante norme per la elaborazione del metodo normalizzato per definire la tariffa del servizio di gestione del ciclo dei rifiuti urbani*, Decreto del Presidente della Repubblica 27 aprile 1999, n.158.
- ISPRA (2021) *Istituto Sperimentale Problematiche Ambientali*, Rapporto di prova n°AB210726-06M e n°AB210726-07M

# IL NUOVO PROGRAMMA DI GESTIONE DEI RIFIUTI DELLA REGIONE LOMBARDIA: GLI OBIETTIVI DI RICICLO DEI RIFIUTI URBANI

Michele Giavini<sup>1</sup>, Giorgio Ghiringhelli<sup>1</sup>, Elisa Amodeo<sup>1</sup>, Silvia Colombo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ARS ambiente Srl, Gallarate (VA)

## Sommario

Con delibera di Giunta regionale n° 6408 del 23/05/2022 è stato approvato l'Aggiornamento del Programma Regionale di Gestione (PRGR) dei Rifiuti (Regione Lombardia 2014), comprensivo del Programma delle Aree Inquinata (PRB) della Regione Lombardia (Regione Lombardia, 2022). Il Programma concorre all'attuazione delle strategie comunitarie di sviluppo sostenibile, oltre a rappresentare lo strumento di programmazione attraverso il quale Regione Lombardia definisce in maniera integrata le politiche in materia di prevenzione, riciclo, recupero e smaltimento dei rifiuti, nonché di gestione dei siti inquinati da bonificare. Il programma contiene scenari evolutivi al 2027 sia per i rifiuti urbani che per i rifiuti speciali, definendo specifici obiettivi e strumenti attuativi, che puntano a favorire i processi di riciclo effettivo e a limitare la realizzazione di nuove volumetrie di discariche. Come è noto, con l'entrata in vigore della Direttiva (UE) 2018/851, gli Stati Membri devono raggiungere sfidanti obiettivi di riciclaggio come specificato nell'art. 11, ossia innalzare la preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio dei rifiuti urbani almeno al 55% in peso al 2025, al 60% al 2030, al 65% al 2035. Poiché il riciclaggio effettivo non è equivalente alla raccolta differenziata, in quanto va calcolato al netto degli scarti derivanti dalle operazioni

di separazione e selezione e riciclo stesse, Regione Lombardia si è posta l'obiettivo di stimare, nell'ambito dell'aggiornamento del PRGR, in modo il più possibile analitico il valore di questo riciclaggio netto, sia come stato di fatto che come obiettivi futuri. Il livello di riciclaggio effettivo raggiunto nel 2019, applicando le assunzioni ad ogni singolo Comune, stimandone le quantità di scarto nella fase di selezione e riciclo, per poi elaborare l'indicatore medio regionale, è pari al 54,9%, dato interessante poiché anticipa di sei anni il conseguimento dell'obiettivo nazionale previsto dalla revisione della Direttiva 2008/98/CE (55% al 2025). Nello scenario di piano assunto si prevede al 2027 il raggiungimento del 83,3% di raccolta differenziata media regionale, valore molto ambizioso, corrispondente al 67,8% di riciclaggio netto, già congruente con l'obiettivo al 2035 (65% al 2035). Tale scenario è costruito sulla base di una serie di obiettivi sinergici, come la prevenzione della produzione di rifiuti urbani, di rifiuti speciali, e la riduzione del fabbisogno di smaltimento a discarica per i rifiuti speciali, posto che i rifiuti urbani in Lombardia già attualmente non vengono inviati a discarica.

**Parole chiave:** *rifiuti, recupero, raccolta differenziata, piano rifiuti, regione Lombardia.*

## THE NEW WASTE MANAGEMENT PROGRAM OF THE LOMBARDY REGION: THE TARGETS OF MUNICIPAL WASTE RECYCLING

### Abstract

The Update of the Regional Waste Management Program (PRGR), including the Program of Polluted Areas (PRB) of the Lombardy Region (Lombardy Region, 2022), was approved by Regional Council Resolution No. 6408 of 23/05/2022. The Program contributes to the implementation of EU sustainable development strategies,

as well as represents the programming tool through which the Lombardy Region defines in an integrated manner the policies on the prevention, recycling, recovery and disposal of waste, as well as the management of polluted sites. to be reclaimed. The update of the Waste Program is therefore in line with the Directives referred to in the "Package for the Circular Economy" which is part of a broader European strategy that aims to achieve a profound change in production and consumption models, according to the new perspective of the so-called "Circular Economy". In 2019, a total of 4,840,740 tons of municipal waste were produced in the Lombardy Region. Each citizen generated on average

IdA



\* Per contatti: Via Carlo Noé 45, Gallarate (VA), giavini@arsambiente.it

Ricevuto il 28-6-2022; Correzioni richieste il 10-7-2022; Accettazione finale il 12-7-2022.

479.1 kilograms of waste, a figure substantially coinciding with that of 2018 (478.7 kg/inhabitant/year). In 2019, separate waste collection in Lombardy reached the regional average of 72% (calculation method DM 2016), with peaks of virtuous communal realities that steadily stood at over 80%. Compared to the other Italian regions, Lombardy is in the fourth position, after Veneto, Sardinia and Trentino Alto Adige. The percentage of separate waste collection at the municipal level has grown steadily over the last ten years, also with reference to the previous method of calculating the DGR 2011, as is evident from the following maps. The collection model that led to these results is the door-to-door one (extended to over 80% of the Lombard municipalities) which, in some contexts, has equipped itself with a system for monitoring the contributions with the primary aim of raising awareness to the citizen of his level of waste production; this monitoring system is also necessary and preliminary to the possible implementation of the punctual rate based on the key concept of the European Directive on the environment “the polluter pays” (declined in PAYT - Pay As You Throw). The program contains evolutionary scenarios up to 2027 for both urban waste and special waste, defining specific objectives and implementation tools, which aim to favor effective recycling processes and limit the creation of new landfill volumes. As is known, with the entry into force of Directive (EU) 2018/851, Member States must achieve challenging recycling targets as specified in art. 11, i.e., to raise the preparation for reuse and recycling of municipal waste to

at least 55% by weight by 2025, to 60% by 2030, to 65% by 2035. Since actual recycling is not equivalent to separate collection, as it must be calculated net of the rejects deriving from the separation and selection and recycling operations themselves, the Lombardy Region has set itself the objective of estimating, in the context of updating the PRGR, in the most analytical way possible the value of this net recycling, both as a state of fact and as future goals. The actual recycling level achieved in 2019, applying the assumptions to each individual Municipality, estimating the quantities of waste in the selection and recycling phase, and then processing the regional average indicator, is equal to 54.9%, an interesting figure since it anticipates the achievement of the national target set by the revision of Directive 2008/98 / EC by six years (55% by 2025). In the scenario of the plan assumed, 83.3% of regional average separate waste collection is expected to be reached by 2027, a very ambitious value, corresponding to 67.8% of net recycling, already congruent with the 2035 target (65% by 2035). This scenario is built on the basis of a series of synergistic objectives, such as the prevention of the production of municipal waste, special waste, and the reduction of the need for landfill disposal for special waste, given that municipal waste in Lombardy does not already currently are sent to landfill.

---

**Keyword:** *waste, recovery, separate collection, waste plan, Lombardy region*

---

## 1. Il nuovo programma di gestione rifiuti di Regione Lombardia

Con delibera di Giunta regionale n° 6408 del 23/05/2022 è stato approvato l'Aggiornamento del Programma Regionale di Gestione (PRGR) dei Rifiuti, comprensivo del Programma delle Aree Inquinata (PRB) della Regione Lombardia (Regione Lombardia, 2022).

L'aggiornamento è stato realizzato dagli uffici D.I. Regione Lombardia – D.G. Ambiente, Energia e Sviluppo Sostenibile – U.O. Attività estrattive, bonifiche e pianificazione rifiuti – Struttura Pianificazione dei rifiuti e delle bonifiche di Regione Lombardia (ex D.G. Territorio e Urbanistica, U.O. Programmazione Integrata e Valorizzazione dei Rifiuti), con il supporto dell'RTI costituito da ARS ambiente Srl (capofila), Oikos Progetti Srl, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA) del Politecnico di Milano, Terraria Srl e ETRA Spa.

Il Programma concorre all'attuazione delle strategie comunitarie di sviluppo sostenibile, oltre a rappresentare lo strumento di programmazione attraverso il quale Regione Lombardia definisce in maniera integrata le politiche in materia di prevenzione, riciclo, recupero e smaltimento dei rifiuti, nonché di gestione dei siti inquinati da bonificare.

L'aggiornamento del PRGR/PRB si basa sulle indicazioni contenute nell'“Atto di Indirizzi in materia di programmazione della gestione dei rifiuti e delle bonifiche PIANO VERSO L'ECONOMIA CIRCOLARE” approvato dal Consiglio Regionale della Lombardia con D.C.R. n° 980/2020 che contiene gli indirizzi e gli obiettivi che devono trovare esplicitazione nel Programma, soprattutto rispetto a quelli che sono i principi dell'Economia Circolare dettati dall'Unione Europea: l'obiettivo sostanziale della Circular Economy è di ridurre il prelievo di risorse naturali, aumentare l'efficienza nell'uso delle risorse e, più in generale, rendere più competitivo e sostenibile lo sviluppo economico del sistema. L'aggiornamento del Programma dei Rifiuti si allinea quindi alle Direttive di cui al “Pacchetto per l'Economia Circolare” che fa parte di una più ampia strategia europea che mira a realizzare un profondo cambiamento dei modelli di produzione e di consumo, secondo la nuova ottica della cosiddetta “Circular Economy”.

L'aggiornamento ha previsto il coinvolgimento dell'“Osservatorio per l'economia circolare e la transizione energetica” di Regione Lombardia, ovvero un tavolo di confronto istituzionale, istituito ad ottobre 2018, per la condivisione degli obiettivi strategici delle politiche regionali per il clima e per la sostenibilità

dell'uso delle risorse con tutti gli attori del territorio, che ha visto la partecipazione di associazioni di categoria, organizzazioni sindacali, università e enti di ricerca, associazioni degli enti locali, associazioni ambientaliste e consumatori. L'Osservatorio è organizzato in tavoli di coordinamento permanenti, che definiscono gli indirizzi, gli obiettivi e i risultati attesi del processo di costruzione comune delle politiche e strategie regionali per l'ambiente e il clima; il coordinamento tecnico è in capo alla Segreteria Tecnica e il coordinamento istituzionale al Tavolo Istituzionale, a cui si aggiungono tavoli tematici che elaborano specifici contributi da integrare nei nuovi piani e programmi regionali. Di particolare interesse sono stati quindi i lavori dei tavoli tematici dell'Area Economia Circolare ovvero:

- Fanghi da depurazione;
- Rifiuti da costruzione e demolizione;
- Scorie di fusione;
- Spreco alimentare;
- Plastiche (Progetto Plasteco – “Supporting EU regions to curb plastics waste and littering”);
- Progetto Circe – “European regions toward Circular Economy”.

Il programma contiene scenari evolutivi al 2027 sia per i rifiuti urbani che per i rifiuti speciali, definendo

specifici obiettivi e strumenti attuativi, che puntano a favorire i processi di riciclo effettivo e a limitare la realizzazione di nuove volumetrie di discariche.

Il PRGR è corredato anche dai criteri localizzativi da applicare per i nuovi impianti e per le modifiche degli impianti esistenti ed è inoltre composto da specifici piani: Programma di prevenzione rifiuti – Programma di gestione dei rifiuti da imballaggi – Programma di riduzione dei RUB – Programma di gestione dei fanghi – Programma di gestione dei rifiuti contenenti amianto – Programma PCB.

## 2. La gestione dei rifiuti urbani in Lombardia

Nel 2019 in Regione Lombardia sono stati prodotti complessivamente 4.840.740 tonnellate di rifiuti urbani. Ogni cittadino ha generato mediamente 479,1 chilogrammi di rifiuto, dato sostanzialmente coincidente con quello del 2018 (478,7 kg/ab\*anno).

In particolare, negli ultimi anni si è assistito alla progressiva e significativa diminuzione del RUR (Rifiuto Urbano Residuo, ovvero il secco indifferenziato) fino ad un valore di 132,6 kg/abitante nel 2019 (era pari a 220,8 kg/abitante nel 2010 e a 249,2 kg/abitante nel 2005), con conseguente aumento della raccolta differenziata. Il più significativo incremento delle

FRAZIONE	CONTENITORE	MODALITÀ E FREQUENZA RACCOLTA
FORSU		DOMICILIARE, 2 / SETTIMANA. EVENTUALMENTE SETTIMANALE NEL PERIODO INVERNALE
CARTA, CARTONE, TETRAPACK		DOMICILIARE, SETTIMANALE
IMBALLAGGI IN PLASTICA		DOMICILIARE, SETTIMANALE
MULTIMATERIALE LEGGERO (IMBALLAGGI IN PLASTICA E METALLO)		DOMICILIARE, SETTIMANALE
VETRO E METALLI O VETRO (SE È ATTIVA RD MULTIMATERIALE LEGGERA PER METALLI)		DOMICILIARE, SETTIMANALE
INDIFFERENZIATO		DOMICILIARE, SETTIMANALE
SCARTI VERDI (ERBA, POTATURE E RAMAGLI)	CARRELLO DA 120 LITRI IN SU	DOMICILIARE, STAGIONALE, A RICHIESTA E PAGAMENTO PER I SOLI ADERENTI AL SERVIZIO
IMBALLAGGI COMPOSTABILI (PIATTI, BICCHIERI, FORCHETTE) CERTIFICATI E MARCHIATI CON APPOSITO LOGO	INSIEME A FORSU PREVIA VERIFICA CON IMPIANTO DI COMPOSTAGGIO	VEDI FORSU

Figura 1. Modello omogeneo regionale per la raccolta differenziata (già presente nel PRGR 2014)

frazioni differenziate riguarda la frazione umida organica, arrivata nel 2019 a 79,1 kg/abitante, e le frazioni riciclabili di plastica, vetro e multimateriale, che hanno raggiunto un livello analogo a quello dell'organico. Il multimateriale è tipicamente raccolto in due modalità: in alcuni Comuni come "multileggero" (imballaggi in plastica, poliaccoppiati, lattine) ed in altri come "multipesante" (vetro e lattine). Ripartendo i quantitativi per singola tipologia di materiale, nel 2019 il totale di plastica raggiunge 28,7 kg/abitante e il vetro 47,2 kg/abitante.

Nel 2019 la raccolta differenziata in Lombardia ha raggiunto il 72% medio regionale (metodo di calcolo DM 2016), con punte di realtà comunali virtuose che si attestano stabilmente oltre l'80%. Rispetto alle altre Regioni italiane, la Lombardia si trova in quarta posizione, dopo Veneto, Sardegna e Trentino-Alto Adige. La percentuale di raccolta differenziata a livello comunale è cresciuta costantemente negli ultimi dieci anni, anche con riferimento al precedente metodo di calcolo della DGR.

Il modello di raccolta (Figura 1) che ha portato a questi risultati è quello *porta a porta* (esteso ad oltre l'80% dei comuni lombardi) che, in taluni contesti, si è dotato di un sistema di monitoraggio dei conferimenti col fine prioritario di far prendere coscienza al cittadino del proprio livello di produzione di rifiuti; tale sistema di monitoraggio è inoltre necessario e preliminare all'eventuale implementazione della tariffa puntuale basata sul concetto cardine della Direttiva europea sull'ambiente "chi inquina paga" (declinato in PAYT – *Pay As You Throw*).

Il sistema di raccolta di rifiuti lombardo persegue l'ottimizzazione, il contenimento dei costi e la personalizzazione del servizio all'utenza tramite, ad esempio:

- la rimodulazione delle frequenze di raccolta in funzione dell'esigenza del territorio, fino ad arrivare ad esempio alla riduzione della frequenza della raccolta del rifiuto urbano residuo (RUR) a una volta al mese nei contesti di raccolta differenziata particolarmente spinta;
- l'attivazione di servizi dedicati a particolari territori o categorie di utenze; si citano in particolare le esperienze di attivazione di raccolta di pannolini/pannoloni per famiglie con neonati o anziani, di raccolta porta a porta di flussi specifici di rifiuti per le utenze non domestiche, di punti di raccolta itineranti per i centri storici (laddove presenti problemi di spazio per lo stoccaggio) o per altre aree carenti di centri di raccolta nelle vicinanze, di punti di raccolta ad accesso controllato dedicate ai turisti, ecc.

Per quanto riguarda il trattamento dei rifiuti raccolti, la Lombardia presenta un importante comparto

impiantistico, in continua evoluzione sia per garantire un sempre minor impatto ambientale delle attività di gestione dei rifiuti, che per adeguare la gestione ai fabbisogni di trattamento, che variano nel tempo, alle richieste di mercato e alle innovazioni tecnologiche.

I principali impianti attivi per il trattamento dei rifiuti urbani presenti in Lombardia sono i seguenti:

- 12 impianti di incenerimento con recupero di energia elettrica/termica;
- 7 impianti di trattamento meccanico-biologico e 3 impianti di selezione che trattano prevalentemente RUR;
- 4 cementerie autorizzate a trattare combustibile solido secondario (CSS, prodotto da rifiuti) e 2 ulteriori impianti autorizzati al co-incenerimento di CSS;
- 8 impianti di digestione anaerobica, 7 impianti di trattamento integrato anaerobico/aerobico e 65 impianti di compostaggio per il trattamento di frazione organica del rifiuto solido urbano (FORSU), verde e fanghi;
- 9 discariche per rifiuti non pericolosi;
- 2 discariche per amianto;
- 2 discariche per rifiuti pericolosi;
- 11 discariche per rifiuti inerti;
- 9 impianti per il recupero delle terre da spazzamento;
- numerosi impianti per il recupero delle frazioni differenziate.

Il complesso dell'impiantistica lombarda ha ampiamente garantito negli ultimi anni l'autosufficienza di trattamento del rifiuto urbano: solo l'1,9% del rifiuto urbano ha avuto come primo destino un impianto sito fuori dalla Regione. Per quanto riguarda in particolare il RUR, gli impianti lombardi hanno garantito la piena autosufficienza di trattamento: l'87% del RUR totale è stato trattato all'interno della provincia di produzione nel pieno rispetto del principio di prossimità. In considerazione inoltre dell'ampia disponibilità impiantistica, gli impianti regionali trattano anche importanti quantitativi di rifiuti di provenienza extraregionale.

Sinteticamente, la destinazione attuale dei rifiuti lombardi risulta essere la seguente:

- l'80% del RUR viene avviato a incenerimento in impianti lombardi; le scorie che ne derivano (circa il 20% del trattato) vengono avviate a successivo recupero di materia e un limitato quantitativo di ceneri leggere pericolose sono destinate a smaltimento;
- il restante 20% del RUR viene avviato a impianti di trattamento meccanico biologico (TMB) o di selezione (SEL) lombardi; questi generano rifiuti in uscita che in gran parte vanno ad alimentare inceneritori e solo marginalmente sono avviati ad impianti di co-incenerimento quali cementerie;

- la quasi totalità dei rifiuti ingombranti viene avviata a impianti di recupero ma solo circa il 25% del rifiuto trattato viene successivamente avviato a recupero di materia;
- per quanto concerne il complesso delle raccolte differenziate (escluso FORSU e verde), il loro trattamento passa attraverso una serie di lavorazioni che mirano a separare le frazioni estranee e selezionare il rifiuto idoneo da avviare a effettivo riciclaggio; questi processi generano ingenti quantitativi di scarti, che per il 60% circa sono avviati a discarica e per la restante quota a incenerimento.

### 3. Nuovi obiettivi di riciclo per i rifiuti urbani

La normativa comunitaria vigente in materia di gestione dei rifiuti è la direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio UE n. 2008/98/CE del 19 novembre 2008. Il 14 giugno 2018 è stato pubblicato sulla Gazzetta ufficiale dell'Unione europea il cosiddetto "Pacchetto per l'Economia Circolare" costituito da quattro direttive:

- la Direttiva 2018/851/UE di modifica della Direttiva quadro in materia di rifiuti 2008/98/CE;
- la Direttiva 2018/850/UE di modifica della Direttiva discariche (1999/31/CE);
- la Direttiva 2018/852/UE di modifica della Direttiva imballaggi (94/62/CE);
- la Direttiva 2018/849/UE di modifica delle Direttive sui veicoli fuori uso (2000/53/CE), su pile e accumulatori (2006/66/CE) e sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche – RAEE (2012/19/UE).

Le Direttive di cui al "Pacchetto per l'Economia Circolare" sono in vigore dal 4 luglio 2018 e gli Stati membri avevano il dovere di far entrare in vigore le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative necessarie per conformarsi alle direttive entro il 5 luglio 2020. Il pacchetto delle nuove Direttive fa parte di una più ampia strategia europea che mira a realizzare un profondo cambiamento dei modelli di produzione e di consumo, secondo la nuova ottica della cosiddetta "Circular Economy" con l'obiettivo di ridurre il prelievo di risorse naturali, aumentare l'efficienza nell'uso delle risorse e rendere più competitivo e sostenibile lo sviluppo economico del sistema.

Il concetto cardine attorno al quale si sviluppa la normativa comunitaria sui rifiuti è la gerarchia dei rifiuti, definita quale ordine di priorità della normativa e della politica in materia di prevenzione e gestione dei rifiuti. Essa è caratterizzata dalle seguenti fasi:

- prevenzione;
- preparazione per il riutilizzo;
- riciclaggio;

- recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia;
- smaltimento.

La gerarchia dei rifiuti si può rappresentare con una piramide rovesciata che conduce dalla scelta migliore a quella peggiore: all'apice sono poste la prevenzione e la minimizzazione della produzione dei rifiuti, perseguibili per esempio intervenendo "a monte" nella progettazione dei beni e degli imballaggi (cosiddetto ecodesign), di cui si possono ottimizzare i processi produttivi ed i relativi consumi energetici, nonché favorirne la riciclabilità e lo sviluppo del riutilizzo. In secondo ordine si trovano le opzioni del recupero di materia e di energia, mentre solo all'ultimo livello viene considerato lo smaltimento. L'attuazione del Pacchetto Economia Circolare in Italia consta di quattro decreti:

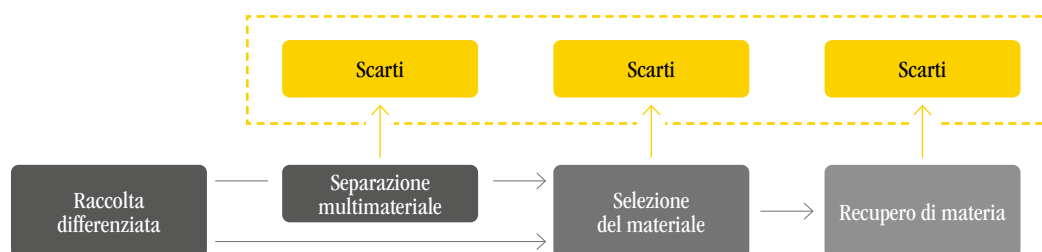
- D.lgs. del 3/9/2020 n. 116 sui rifiuti,
- D.lgs. del 3/9/2020 n. 118, relativo a pile e accumulatori e ai rifiuti di pile e accumulatori, e sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche,
- D.lgs. del 3/9/2020 n. 119, relativo ai veicoli fuori uso,
- D.lgs. del 3/9/2020, n. 121, recante una nuova disciplina organica del conferimento di rifiuti in discarica, con divieto di smaltire in discarica, a partire dal 2030, tutti i rifiuti che risultino idonei al riciclaggio o ad altre forme di recupero.

Come è noto, con l'entrata in vigore della Direttiva (UE) 2018/851, gli Stati Membri devono raggiungere sfidanti obiettivi di riciclaggio come specificato nell'art. 11, ossia innalzare la preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio dei rifiuti urbani almeno al 55% in peso al 2025, al 60% al 2030, al 65% al 2035. Poiché il riciclaggio effettivo non è equivalente alla raccolta differenziata, in quanto va calcolato al netto degli scarti derivanti dalle operazioni di separazione e selezione e riciclo stesse (Figura 2), Regione Lombardia si è posta l'obiettivo di stimare, nell'ambito dell'aggiornamento del PRGR, in modo il più possibile analitico il valore di questo riciclaggio netto, sia come stato di fatto che come obiettivi futuri.

Gli obiettivi comunitari sono da raggiungere a livello nazionale e non regionale, ma la Lombardia ha deciso di porsi comunque degli obiettivi interni, alla luce del peso rilevante che questa regione gioca sulla produzione nazionale di rifiuti e al fine di porre in atto con il giusto anticipo politiche idonee alla misura e riduzione degli scarti generati in fase di selezione e di riciclo.

Pertanto, grazie ad alcune analisi di dettaglio effettuate principalmente dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA) del Politecnico di Milano (Bellan e Grosso, 2020), si sono scelti alcuni coefficienti di scarto caratteristici per le varie filiere. Oltretutto, come proposta innovativa si è cercato di analiz-





**Figura 2.** Schema di flusso ideale del recupero dei rifiuti separati attraverso la raccolta differenziata che, dopo le operazioni di selezione e riciclo, generano una quantità di materie prime a recupero di materia inferiori al materiale raccolto per effetto degli scarti generati in ogni fase di trattamento (Bellan e Grosso, 2020).

zare gli scarti generati nell’ambito dei diversi modelli di raccolta differenziata adottati in Lombardia (porta a porta, cassonetti stradali, misto) al fine di verificare l’effetto delle politiche di miglioramento della qualità del riciclaggio legata all’innovazione nei modelli e al miglioramento del comportamento dei cittadini.

Il livello di riciclaggio effettivo raggiunto nel 2019, applicando le assunzioni ad ogni singolo Comune, stimandone le quantità di scarto nella fase di selezione e riciclo, per poi elaborare l’indicatore medio regionale, è pari al 54,9%. Questa stima segue le indicazioni dell’art. 11 Direttiva UE e Decisione 1004/2019, calcolando il livello di riciclaggio sul totale rifiuti urbani riciclati, al netto degli scarti, compresi i metalli recuperati dalle scorie di incenerimento e sottraendo i rifiuti inerti. Questo dato è interessante, poiché anticipa di sei anni il conseguimento dell’obiettivo nazionale previsto dalla revisione della Direttiva 2008/98/CE (55% al 2025); come precedentemente anticipato si evidenzia come la percentuale della raccolta differenziata (72,0%, metodo DM 2016) non sia più un indicatore sufficiente dell’efficienza del sistema.

Poiché l’orizzonte temporale di questo aggiornamento del Programma Regionale di Gestione (PRGR) dei Rifiuti è il 2027, al fine del raggiungimento del 55% al 2025 la Lombardia sarebbe già attualmen-

te conforme. Ciononostante, a seguito delle analisi dei numerosi dati comunali esistenti (nel database analizzato vi sono più di 1.500 Comuni), si è utilizzato l’approccio di simulare una crescita delle *performances* comunali con un trend paragonabile a quello dei Comuni più virtuosi. Infatti, nel 2019 erano già presenti più di 200 Comuni con un livello di raccolta differenziata superiore all’80%, ed estrapolando questo andamento a tutti gli altri Comuni, con alcune assunzioni di base, si è creato quello che è stato definito “*scenario ottimizzato*”.

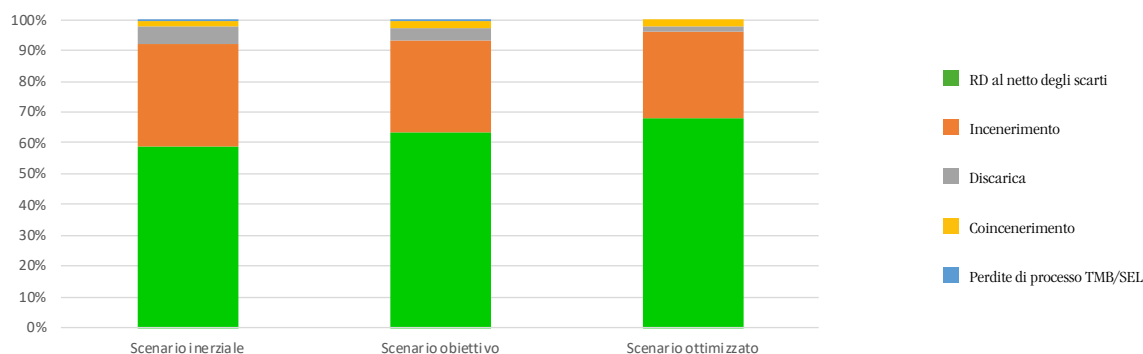
Tale scenario (Figura 3) prevede al 2027 il raggiungimento del 83,3% di raccolta differenziata media regionale, valore molto ambizioso, corrispondente al 67,8% di riciclaggio netto, già congruente con l’obiettivo al 2035 (65% al 2035). Tale scenario è costruito sulla base di una serie di obiettivi sinergici, come la prevenzione della produzione di rifiuti urbani, di rifiuti speciali, e la riduzione del fabbisogno di smaltimento a discarica per i rifiuti speciali, posto che i rifiuti urbani in Lombardia già attualmente non vengono inviati a discarica.

Per raggiungere questi obiettivi il Programma Regionale di Gestione (PRGR) dei Rifiuti della regione Lombardia prevede i seguenti sfidanti impegni:

- completamento dell’estensione del “modello omogeneo di raccolta” porta a porta a tutti i Comuni,

**Tabella 1.** Dati sui rifiuti prodotti, raccolti e riciclati in Regione Lombardia, con indicazione degli scarti dopo le operazioni di selezione e riciclo. I materiali riciclati comprendono il recupero di metalli dalle scorie di incenerimento (dati anno 2019).

Frazione di rifiuto urbano	U.M.	Dati 2019	%	
Rifiuti urbani totali	t.	4.840.135	100,0%	a
Rifiuti inerti	t.	110.526	2,3%	b
Rifiuto Urbano Residuo (RUR)	t.	1.354.363	28,0%	c
<b>Raccolta differenziata (RD) con inerti (metodo DM 2016)</b>	<b>t.</b>	<b>3.485.772</b>	<b>72,0%</b>	<b>d=a-c</b>
Scarti selezione RD	t.	451.210	9,3%	e
Scarti riciclo RD	t.	376.232	7,8%	f
Metalli da scorie incenerimento	t.	49.317	1,0%	g
<b>Materiali riciclati (stima art. 11 Direttiva UE e Decisione 1004/2019)</b>	<b>t.</b>	<b>2.597.121</b>	<b>54,9%</b>	<b>d-b-e-f+g</b>



**Figura 3.** Scenari al 2027 presenti nel Programma Regionale di Gestione (PRGR) dei Rifiuti rispetto ai destini di tutte le frazioni di rifiuti urbani.

almeno per le frazioni principali (RUR, FORSU, carta, vetro, plastica);

- implementazione di modelli alternativi di raccolta solo qualora garantiscano un livello di efficienza in termini di raccolta differenziata e qualità merceologica di tutte le frazioni paragonabile a quella della raccolta porta a porta;
- implementazione di modelli che riducano al minimo le frequenze di raccolta del rifiuto indifferenziato;
- implementazione di modelli con raccolte di prossimità in situazioni territoriali ove è più complessa l'implementazione del porta a porta, sempre salvaguardando gli obiettivi di alta qualità del riciclo.
- implementazione della raccolta della FORSU in tutti i Comuni, raggiungendo almeno 60 kg/ab/anno di intercettazione, intesa come somma tra raccolta differenziata e compostaggio domestico o di comunità;
- implementazione della raccolta dei tessili in tutti i Comuni;
- incentivazione della raccolta degli oli usati di origine vegetale e minerale;
- implementazione del servizio aggiuntivo di raccolta dei rifiuti da prodotti assorbenti per la persona (PAP) nel caso di riduzione della raccolta del RUR a valori inferiori a una volta a settimana; la raccolta separata dei PAP può essere attivata in modo sperimentale con un circuito dedicato qualora sia presente un impianto che permetta il riciclaggio di queste frazioni.

#### 4. Conclusioni

L'aggiornamento del Programma Regionale di Gestione Rifiuti (PRGR) per il periodo 2021-2027 contiene la rivalutazione della programmazione lombarda del settore ambientale in tema di rifiuti e recepisce il cosiddetto "Pacchetto per l'Economia Circolare" dell'Unione Europea. L'aggiornamento del PRGR ha confermato la posizione della Lombardia tra le regioni virtuose, non solo a livello nazionale, ma anche a li-

vello europeo: il sistema impiantistico permette di raggiungere alti livelli di recupero di materia ed energia, destinando al conferimento in discarica una percentuale bassissima di rifiuti e garantendo, comunque, l'autosufficienza. Già negli anni scorsi, la produzione dei rifiuti è diminuita e la percentuale di raccolta differenziata è aumentata grazie a comportamenti più consapevoli sia nel gestire che nel differenziare i rifiuti. Viene chiesto ora di continuare con impegno su questa strada, riducendo ulteriormente gli sprechi alimentari, continuando a scegliere prodotti poco imballati o fabbricati con materiali recuperati o più facilmente recuperabili e prestando sempre maggiore attenzione alla raccolta dei RAEE. Contemporaneamente, in base a quanto previsto dall'aggiornamento del PRGR, nei prossimi anni verrà completata l'estensione del modello omogeneo di raccolta porta a porta o di altri sistemi ugualmente performanti in modo da consentire a tutti i Comuni di raggiungere almeno il 65% di raccolta differenziata e una buona qualità delle frazioni di rifiuto raccolte separatamente. Si potrà in tal modo raggiungere e superare la percentuale media regionale di raccolta differenziata del 75% e una percentuale media regionale di riciclo del 57% al 2027. ■

#### Riferimenti bibliografici

- Regione Lombardia (2022) Aggiornamento del Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti. <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/ambiente-ed-energia/Rifiuti/aggiornamento-piano-rifiuti-e-bonifiche-regionale/aggiornamento-piano-rifiuti-e-bonifiche-regionale>;
- Regione Lombardia (2014) Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti.
- Bellan M., Grosso M. (2020) Valutazione dei flussi di scarto nella gestione dei rifiuti urbani in Italia, *Ingegneria dell'Ambiente*, Vol. 7 n. 3, pag. 161-174.



# ECOMONDO

THE GREEN TECHNOLOGY EXPO

Leading  
the ecological  
transition.

Ecomondo as a driver for a healthy,  
efficient and productive sustainable  
industry.

8-11  
NOVEMBER  
2022

RIMINI EXPO  
CENTRE  
ITALY

simultaneously with

**KEY ENERGY**  
THE RENEWABLE ENERGY EXPO



[ecomondo.com](http://ecomondo.com)

Organized by

**ITALIAN  
EXHIBITION  
GROUP**  
Providing the future

In collaboration with



**ITCA**   
ITALIAN TRADE AGENCY



## smartCID Vf: PER RILEVARE IN AUTOMATICO IN CAMPO LA QUANTITÀ [CC/L XΔT] E VELOCITÀ DI SEDIMENTAZIONE [M/H] DEL FANGO

Domanda di Brevetto N.102021000028064

Nei processi depurativi sia biologici che chimico-fisici di flocculazione la fase finale di sedimentazione dei fiocchi di fango formati nel processo a monte rappresenta il fattore determinante dell'intero trattamento poiché da essa dipendono sia le caratteristiche dell'acqua depurata che la produzione dei fanghi da smaltire.

Il volume di fango sedimentato e la velocità di sedimentazione dei fiocchi di fango, in un preciso intervallo di tempo, sono i parametri gestionali principali che indicano l'allineamento ai dati di progetto e indirizzano sulle operazioni da eseguire.

Nella gestione degli impianti di depurazione biologica uno dei parametri rilevato saltuariamente e manualmente dagli addetti alla gestione è il **Vf30** [cc/l] cioè la quantità di fango prelevato in ossidazione che sedimenta dopo 30min in cilindro o cono da 1lt. Il dato permette di stabilire quando inviare i fanghi di supero in eccesso nel processo depurativo e di indicare la quantità più probabile da smaltire. Correlato con altri parametri il Vf30 fornisce al gestore altre fondamentali indicazioni. L'importanza del Vf30 oltre che processuale è

economica poiché il trattamento e smaltimento dei fanghi di supero rappresenta mediamente il 35% dei costi gestionali dell'impianto.

A tale scopo il CID ING VENTURA SRL di Brescia ha messo a punto e brevettato la nuova apparecchiatura **smartCID Vf** per la rilevazione automatica della quantità e velocità di sedimentazione dei fanghi basata su una complessa elaborazione delle immagini scattate dalla telecamera sul cilindro da 1.000cc, riempito con la miscela di fango che giunge in sedimentazione. Essa è indicata sia nei processi biologici che chimico-fisici di flocculazione poiché i tempi per Vf, Vsed1, Vsed2 sono impostabili dall'utente nella tabella di configurazione.

La **smartCID Vf** è composta da due armadi in termoresina con protezione IP65 assemblati sovrapposti e provvisti di tutti i componenti necessari.

**Il quadro superiore** è completo di Modulo I/O industriale, display LCD 20x4 righe, differenziale di alimentazione 220V, alimentatore 24Vcc, router e chiavetta-sim internet, pompa peristaltica di carico-scarico, morsetti, pulsante per avvio manuale ciclo.

**Il quadro inferiore** è completo di fondali sagomati nero e bianco, cilindro graduato con colonna di carico, barra Led, telecamera.



# Sonde da campo per rilevazione in continuo

Interfaccia SmartCID per l'invio automatico dei dati registrati e visualizzati su pc, smartphone e tablet.

## SONDA TENSIOATTIVI

Per la rilevazione automatica in continuo di ppm Tensioattivi



SONDA TENSIOATTIVI

## SONDA COD OUT

Per rilevazione automatica in continuo di:  
ppm Solidi sospeso totali  
ppm BOD5, COD, Torbidità



SONDA COD OUT

## VF30 FANGHI

Misura automatica del volume dei fanghi [cc/l] e velocità di sedimentazione [m/h]

Brevetto 2021 n. 102021000028064

**NOVITA'**



VF30 FANGHI

dal 1979

 **CID**  
Ing. VENTURA srl

Alimentando a 220V. si avvia automaticamente il ciclo composto dalle fasi principali: carico, intervalli Vsed1 e Vsed2 per la velocità di sedimentazione [m/h], l'intervallo Vf per la determinazione del volume di fango [cc/lxDt], lo scarico.

I dati rilevati vengono visualizzati sul display e con gli allarmi salvati sulla memoria microSD e inviati sia sul **database** del server che su **Telegram** impostati dal cliente, per renderli disponibili su **pc, smartphone, tablet** in modo semplice e immediato.

Collegandosi via wi-fi con pc o smartphone l'utente può visualizzare e scaricare i dati e gli allarmi registrati e accedere alla configurazione per impostare l'intervallo in giorni per l'avvio ciclo, i tempi per Vf, Vsed1, Vsed2, la soglia di allarme per Vf, le impostazioni per l'invio sul database e con Telegram.

### smartCID Vf – Ricezione dati



Al termine del ciclo di rilevazione i dati vengono registrati sulla memoria microSD della **smartCID Vf** e inviati sia sul database che con Telegram sul pc, smartphone, tablet.

Aperto Telegram e cliccando sul Bot del gruppo impostato si visualizzano, per ogni rilevazione in modo semplice e immediato, l'immagine del cilindro graduato contenente il fango sedimentato, data e ora della rilevazione, i corrispondenti valori del volume di fango [cc/l] e della velocità di sedimentazione [m/h] (come da immagine a fianco).

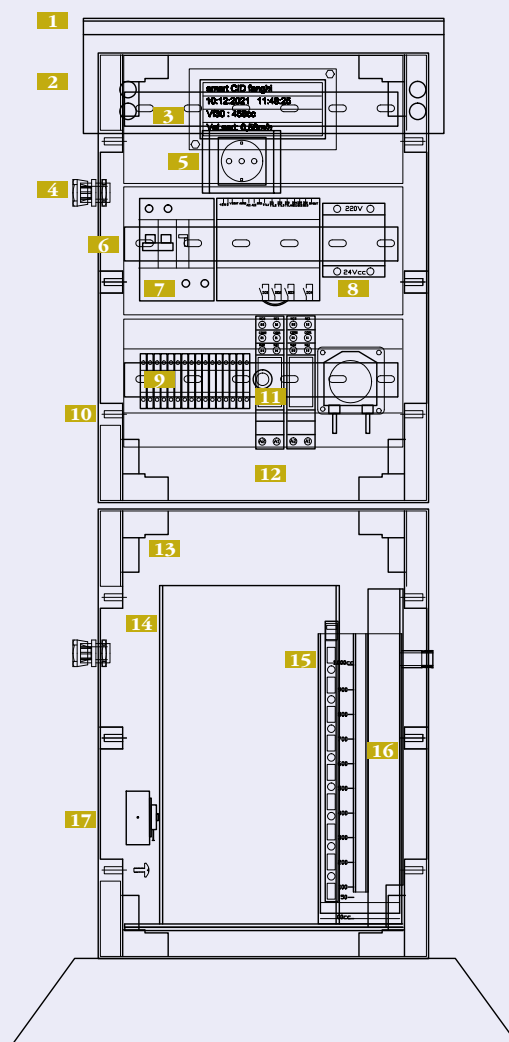
Sulla memoria microSD vengono salvate le immagini e i dati rilevati del volume di fango [cc/l] e della velocità di sedimentazione [m/h]. Collegandosi localmente via wi-fi alla smartCID Vf si possono scaricare le immagini e i dati registrati in formato csv che possono essere elaborati in Excel nel formato xls per creare tabelle e grafici, (come da ES. riportato).

Date	Time	Vf	Vsed
15-12-2021	21:30:36	408	0.71
05-12-2021	21:30:36	377	0.58
25-11-2021	21:30:36	311	0.72
15-11-2021	21:30:36	253	0.59
05-11-2021	21:30:36	109	0.52

Nel caso l'utente abbia impostato il database secondo le indicazioni previste, potrà acquisire direttamente i dati in tabella e grafici. ■

### Componentistica

- 1 Tettuccio inox presso piegato per copertura.
- 2 Armadio termoresina IP65 – RAL7035  
310x 160xH 425mm – Porta cieca con 2 chiusure.
- 3 Display 20x4 righe per visualizzare ultimo dato registrato.
- 4 Router e chiavetta-sim Internet di trasmissione dati.
- 5 Presa 220 V. per alimentatore Router.
- 6 Differenziale magnetotermico di protezione.
- 7 Modulo I/O industriale con programma precaricato e configurato.
- 8 Alimentatore Switching 24Vcc.
- 9 Relè allarme parametri P1 e P2.
- 10 Morsetteria per collegamenti.
- 11 Pulsante per comando pulizia manuale.
- 12 N°3 pannelli finestrati fissati con clip su montanti.
- 13 Armadio termoresina IP65 – RAL7035  
310x 160xH 425mm – Porta cieca con 2 chiusure.
- 14 Fondali sagomati bianco – nero opaco.
- 15 Lampada Led.
- 16 Cilindro 1.000cc graduato con colonna di carico.
- 17 Telecamera alta definizione GW.



**CID Ing.Ventura Srl**  
BRESCIA, Tel. 0303730699  
[www.venturacid.it](http://www.venturacid.it)

# 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 ciclo 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.

La carta si ricicla e rinasce.  
Garantisce Comieco.

[comieco.org](http://comieco.org)





## RACCOLTA E RICICLO DI CARTA E CARTONE, NEL 2021 ITALIA DA RECORD: OGNI ITALIANO HA DIFFERENZIATO OLTRE 60 KG

**Lorenzo Bono<sup>1</sup>, Federica Brumen<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Responsabile Ricerca & Sviluppo Comieco

<sup>2</sup>Ricerca & Sviluppo Comieco – Sostenibilità, ecodesign, rapporti con le aziende

*Oltre 3,6 milioni di tonnellate di materiali cellulósici raccolti dai comuni di tutta Italia. L'Emilia-Romagna si conferma al primo posto con 88,4 kg raccolti da ciascun cittadino; subito dopo Toscana (85,5) e Valle d'Aosta (75 kg). Risultati ancora migliorabili: lo spazio di crescita complessivo vale almeno 800mila tonnellate, per un'Italia sempre piú nel solco dell'economia circolare.*

Il riciclo di carta e cartone non si ferma. Anzi, corre sempre piú veloce. A stabilirlo è il 27° Rapporto Annuale sulla raccolta differenziata e riciclo di carta e

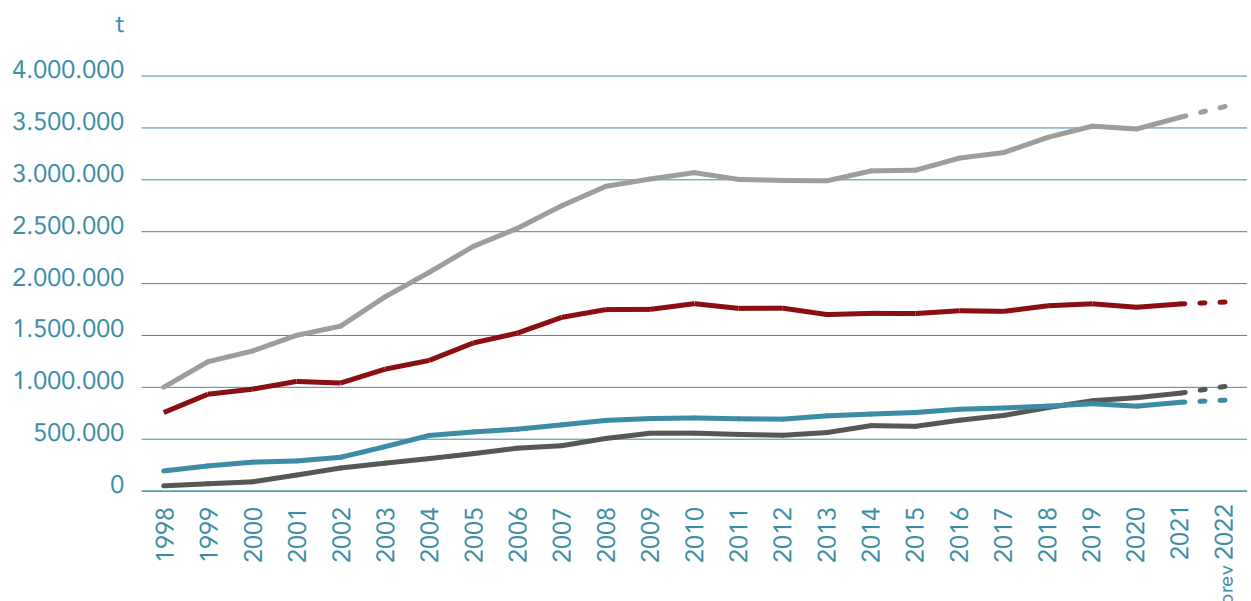
cartone in Italia di Comieco, Consorzio Nazionale per il Recupero e Riciclo degli Imballaggi a Base Cellulosica. Il tasso di riciclo degli imballaggi cellulósici, giú nel 2020 l'Italia ha raggiunto e superato la soglia dell'85%, che corrisponde al target fissato dall'Unione Europea per il 2030.

Il 2021 ha fatto segnare un altro segno piú per il nostro Paese nella raccolta differenziata di carta e cartone: +3,2% rispetto al 2020, che, come sappiamo tutti, è stato segnato dalle fasi piú acute dell'emergenza da Covid-19.

Grazie all'azione congiunta di cittadini, Comuni e gestori, per la prima volta nel 2021 abbiamo supera-

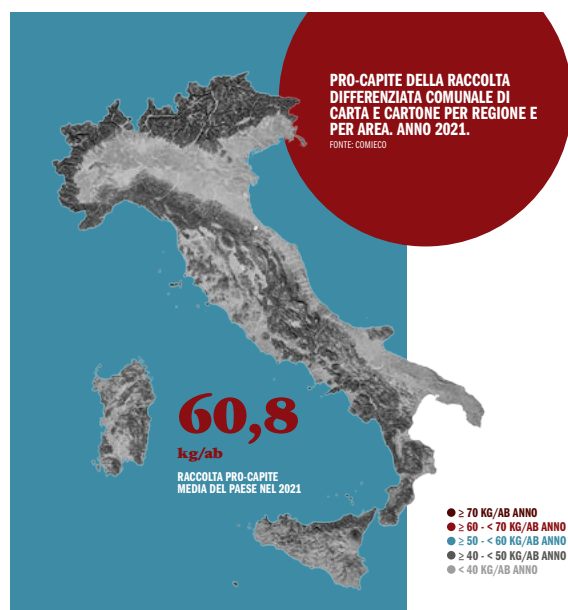
### RACCOLTA DIFFERENZIATA COMUNALE DI CARTA E CARTONE. SERIE STORICA 1998-2021 E PREVISIONI 2022.

Fonte: COMIECO





to i 60 chilogrammi di materiale raccolto per abitante a livello nazionale. Non solo. I corrispettivi economici riconosciuti da Comieco ai Comuni italiani convenzionati sono aumentati di 67 milioni di euro (+44% rispetto al 2020). Più in generale, i dati del 27esimo rapporto annuale di Comieco ci restituiscono l'immagine di una filiera italiana della carta caratterizzata da una grande vitalità e capace di reagire agli shock degli ultimi anni (le restrizioni sull'export della Cina, le ondate pandemiche, e ora anche la crisi delle materie prime e dell'approvvigionamento energetico scatenata dal conflitto tra Russia e Ucraina).



La produzione cartaria è infatti aumentata del 12,5%, spinta in particolare da quella per gli imballaggi (+ 14,7%). Un altro aspetto interessante da sottolineare è quello relativo al consumo di macero all'interno dei confini nazionali che ha fatto registrare un balzo del 16%, superando per la prima volta quota 6 milioni di tonnellate.

Oggi la carta recuperata rappresenta il 62% della fibra totale utilizzata dalle cartiere italiane: un dato che permette al nostro Paese di salire sul secondo gradino del podio in Europa (dopo la Germania) e al primo posto se guardiamo all'incremento percentuale dell'uso di carta da riciclare. Il saldo netto dell'export di carta da macero è sceso a 948 mila tonnellate, il 41% in meno rispetto al 2020. È questo il risultato di un considerevole incremento della capacità produttiva nazionale, che ha rafforzato un modello virtuoso di economia circolare anche dal punto di vista logistico.

Il 2021 è stato, inoltre, un anno che ha portato con sé importanti novità dal punto di vista del Contributo Ambientale Conai per carta e cartone. Siamo scesi dai 55 euro per tonnellata del primo semestre 2021 ai 25 euro per tonnellata del secondo semestre.

A partire dal gennaio 2022 il contributo è stato poi portato a 10 euro a tonnellata, e dal 1° luglio 2022 si è ridotto ulteriormente a 5 euro a tonnellata. Un notevole vantaggio per le aziende utilizzatrici di imballaggi cellulósici e per i consumatori.

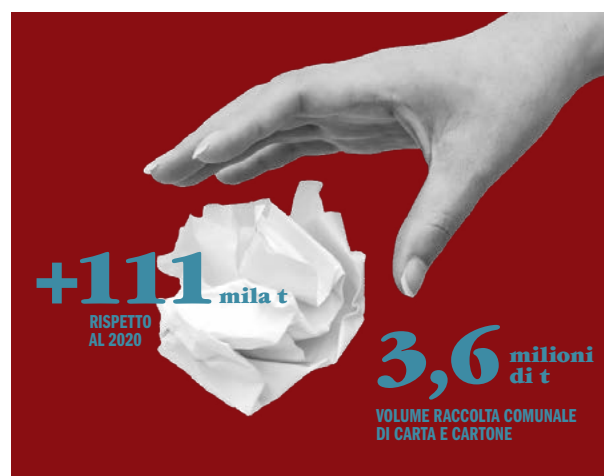
La riduzione del CAC è stata resa possibile in prima battuta dai maggiori ricavi per la cessione del macero, ma anche dai miglioramenti a livello gestionale che hanno coinvolto il sistema consortile. L'entrata a pieno regime del nuovo sistema informatizzato ha consentito a Comieco di monitorare i flussi in tempi più rapidi e garantire così l'avvio a riciclo di carta e cartone differenziati.

Infine, il 2021 è stato il primo anno in cui i termini contrattuali del quinto ciclo dell'Accordo ANCI-CO-NAI, avviato a metà 2020, sono stati applicati su tutti e 12 i mesi. Ai Comuni convenzionati sono stati erogati corrispettivi economici per un valore superiore ai 218 milioni di euro per la presa in carico di 2,5 milioni di tonnellate di materiale (pari a circa il 70% della raccolta comunale complessiva di carta e cartone). Stiamo parlando di circa 67 milioni di euro in più rispetto al 2020 (+44%), a fronte di un incremento dei volumi gestiti da Comieco di circa 84 mila tonnellate (+3,4% rispetto al 2020) a cui si aggiungono i nuovi corrispettivi unitari per l'imballaggio e l'aggiornamento delle modalità di valorizzazione delle frazioni similari, che hanno portato benefici consistenti a sostegno della raccolta.

Le sfide future vedono la carta principalmente impegnata su due fronti.

### Da Sud a Nord quantità e qualità: gli highlights della raccolta

Nel 2021, oltre **3,6 milioni di tonnellate di materiale cellulósico** sono stati differenziati complessivamente in tutto il Paese, un **andamento ovunque positivo**, i volumi complessivi di raccolta comunale sono cresciuti di oltre 110.000 tonnellate.

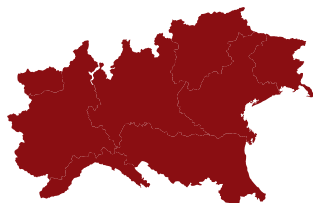


Al **Nord** i dati mostrano come si sia tornati ai livelli 2019 recuperando completamente il passo falso del 2020. La raccolta cresce di 36mila tonnellate (+2%), con Liguria e soprattutto Emilia-Romagna a trascinare la ripresa. Quest'ultima, con oltre 88 kg/anno di raccolta pro-capite, si colloca anche in testa alla graduatoria a livello nazionale. Una menzione particolare per la Lombardia che con oltre 570mila tonnellate è il bacino regionale più rappresentativo in termini di volumi raccolti.

Il **Centro**, che nel passaggio da 2019 al 2020 era sceso di oltre 20mila tonnellate, fa registrare un +37mila ton (+4,5%) recuperando con gli interessi quando era stato perduto. Anche in questo caso il traino viene da un territorio in cui la raccolta differenziata è fortemente radicata. La Toscana, grazie alla ripresa dei flussi turistici ma anche a interventi sui servizi, contribuisce per quasi il 50% alla crescita d'area e con oltre 85 kg/ab si posiziona al secondo posto nazionale della raccolta pro-capite.

Il **Sud** conferma anche nel 2021 l'aumento della raccolta differenziata di carta e cartone e il suo percorso di recupero nei confronti delle macroaree Nord e Centro con **38.000 tonnellate** in più: una crescita del 4,3%, migliore di quanto fatto l'anno precedente. Il salto più consistente è quello della Sicilia che con +14mila tonnellate supera i 40 kg/ab per la prima volta nella sua storia, contribuendo per ben 1/3 alla crescita del Mezzogiorno e per il 13% alla crescita complessiva nazionale. Il modello però è quello della Sardegna che con oltre 60 kg/ab guida la classifica pro-capite al meridione ed è in linea con il dato medio nazionale. Se tutto il Sud raccogliesse con simili percentuali, si arriverebbe ad una raccolta complessiva di oltre 1,2 milioni di tonnellate rispetto alle 940mila attuali.

**Il trend di crescita nazionale deve svilupparsi su un doppio binario: più quantità, ma anche più qualità.** Se, infatti, la raccolta del cartone presso le attività commerciali si conferma su standard di



**NORD**

**65,7**



**CENTRO**

**73,0**



**SUD**

**46,9**

eccellenza (frazioni estranee = 0,79%), sul versante “famiglie” in media circa il 50% delle quantità gestite da Comieco necessita di una lavorazione industriale per il raggiungimento di livelli soddisfacenti, percentuale che al Sud arriva al 75%. Assicurare la migliore qualità già in fase di raccolta diventa quindi essenziale per migliorare l'efficienza e l'economicità lungo tutta la filiera del riciclo.

Un buon risultato è un nuovo punto di partenza e uno stimolo a fare sempre meglio. Come? Raccogliendo ancora di più e meglio. I dati di produzione dei rifiuti urbani ci indicano in particolare due direttrici su cui occorre intervenire. La prima è quella che punta a ridurre il gap che divide il Sud e alcuni grandi nuclei urbani, come Roma o Napoli, dal resto del Paese. È uno spazio che può essere colmato in tempi anche brevi. La seconda è quella che punta ad una crescita generale, con l'obiettivo di superare i 4 milioni di tonnellate e – su un orizzonte temporale più ampio – i 4,5 milioni di tonnellate. Una crescita che permetta di andare ad intercettare quella quota di materiale celluloso ancora presente nel rifiuto tal quale e che rappresenta quello

che potremmo definire il “potenziale” da sviluppare in tutto il Paese. Ma le sfide che ci aspettano non si vincono solo sulle quantità: per un riciclo efficiente occorre lavorare anche sulla qualità della raccolta. Su questo aspetto i cittadini e le altre utenze possono fare molto, separando in maniera più attenta i materiali. ■

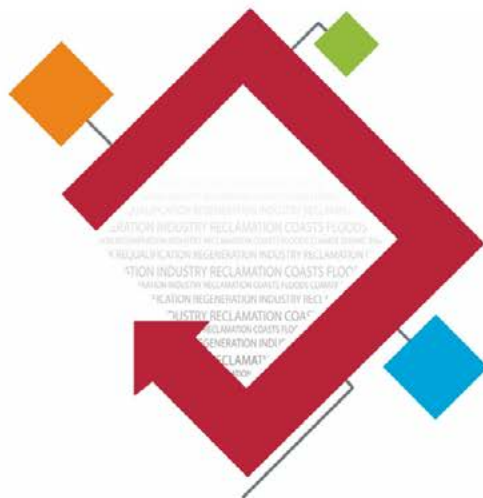
*Per informazioni:*

**Comieco**

Cons. Naz. Recupero e Riciclo degli imballaggi a base Cellulosica

[www.comieco.org](http://www.comieco.org)





# REMTECH EXPO

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

## 21 - 23 SETTEMBRE 2022



# Informazioni DALLE AZIENDE

## BolognaFiere Water&Energy per la transizione ecologica

Sei manifestazioni, un unico grande **appuntamento a Bologna dal 12 al 14 ottobre 2022**. BolognaFiere Water&Energy (BFWE) – società costituita nel 2021 da **BolognaFiere** e **Mirumir** per promuovere un'azione di sensibilizzazione sulle tematiche connesse al valore economico e sociale dell'energia, dell'acqua e delle nuove applicazioni tecnologiche – apre le porte di sei differenti iniziative per parlare di transizione ecologica.

**Fuels Mobility, ConferenzaGNL, HESE, CH4, FORUM ACCADUEO e Dronitaly**, queste le manifestazioni che per tre giorni animeranno – con convegni, workshop e aree espositive – il confronto nazionale e internazionale sui temi cardine della transizione. A Bologna si daranno appuntamento istituzioni, associazioni, imprese,

oltre ad esponenti di primo piano dei diversi ambiti di interesse: economico, tecnologico, sociale e culturale.

Di seguito, le 6 manifestazioni nel dettaglio:

- **Fuels Mobility**: principale appuntamento fieristico e convegnistico italiano dedicato alla stazione di servizio del futuro e alla nuova rete di distribuzione. Da quest'anno ampio spazio alla mobilità elettrica. Grazie alla collaborazione con Enel X Way, la e-mobility sarà al centro di una piazza tematica dedicata.
- **ConferenzaGNL**: punto di riferimento per il settore del gas naturale liquefatto. Da 10 anni promuove il suo utilizzo come commodity della transizione energetica.
- **HESE - Hydrogen Energy Summit&Expo**: prima e principale iniziativa italiana dedicata alle nuove tecnologie per la produzione, il trasporto e lo stoccaggio dell'idrogeno.

- **CH4**: fino allo scorso anno salone interno alla manifestazione ACCADUEO, è l'evento fieristico dedicato alle tecnologie e ai sistemi per il trasporto e la distribuzione del gas che, dal 2022, si evolve e si apre ai temi legati all'utilizzo del metano nella mobilità.
- **FORUM ACCADUEO**: nuova iniziativa del mondo ACCADUEO. Un evento convegnistico biennale dedicato alla digitalizzazione e all'innovazione del comparto idrico.
- **Dronitaly**: dal 2014, la manifestazione di riferimento sull'impiego di mezzi a pilotaggio remoto per uso professionale in Italia.

**BFWE** BolognaFiere  
Water&Energy  
<https://www.bfwe.it/it/>  
[info@bfwe.it](mailto:info@bfwe.it)



BOLOGNAFIERE WATER&ENERGY

**Ricerca e innovazione,  
digitalizzazione,  
sostenibilità**



## BolognaFiere, 12-14 ottobre 2022



## 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](http://www.auma.it)

**auma**<sup>®</sup>  
Solutions for a world in motion



## Il riciclo per i rifiuti industriali e il risparmio di emissioni: il caso di Itelyum per l'economia circolare nazionale

**P**layer protagonista a livello nazionale e continentale per la rigenerazione degli oli usati, la produzione e purificazione dei solventi e i servizi ambientali per l'industria, Itelyum gestisce un milione e ottocentomila tonnellate di rifiuti speciali all'anno, compresi i rifiuti speciali intermediati e trasportati, ottenendo indici di circolarità superiori all'85%. L'impatto di Itelyum, in base all'approccio LCA (Life Cycle Assessment) è climate positive. Grazie a questa "eccellenza", nel solo 2021 il Gruppo ha evitato l'emissione di circa 270.000 tonnellate di CO<sub>2</sub>, al netto dei propri impianti (oltre 470.000 se considerate al lordo).

La strategia di sostenibilità di Itelyum nel 2021 è stata ancor più rafforzata dall'emissione di un Sustainability-linked Bond che sancisce l'impegno dell'azienda anche verso la comunità degli investitori. Il Bond è costruito infatti sulla base di due target di

sostenibilità, due impegni vincolanti collegati alla cedola: aumentare del 25% rispetto al 2020 le emissioni evitate grazie ai prodotti venduti entro il 2025 e aumentare del 25% i rifiuti inviati a destinazioni circolari (rigenerazione, riciclo, trattamento acque e recupero) entro il 2025, rispetto al 2020.

Già a fine 2021 il primo indicatore che riguarda le emissioni evitate è aumentato del 10%, passando da 430.450 tonnellate a 473.783 mentre il secondo del 14%, passando da 574.184 tonnellate a 653.919.

Entrambi gli indicatori superano, e quindi confermano, il raggiungimento degli obiettivi- non vincolanti- del 2021 e, altresì, confermano il trend per il raggiungimento dei target che Itelyum si è prefissata per il 2025. In coerenza col proprio ruolo di leader dell'economia circolare e, quindi, della sostenibilità ambientale, Itelyum ha lavorato nel 2021 per rafforzare il proprio impegno sociale verso i territori in cui opera, attraverso l'avvio del progetto "Obiettivo Sostenibilità Scuole": un percorso partecipato con docenti e studenti, volto a trasmettere i valori del Green Deal e gli obiettivi dell'Agenda 2030, attraverso un portale web e un ciclo di incontri che mettono in relazione le scuole,

le Istituzioni e i professionisti della sostenibilità con focus sull'economia circolare, l'innovazione digitale, la parità di genere e la formazione STEM. Oggi il mondo Itelyum è composto da tre divisioni: Regeneration, azienda che si occupa di rigenerazione-degli oli minerali esausti con due impianti, uno a Pieve Fissiraga (LO) e uno a Ceccano (FR); Purification, azienda che si occupa di produzione e commercializzazione di solventi da valorizzazione di reflui chimici e di solventi ad alta purezza e da alcuni anni produttore di starting material per l'industria farmaceutica; Soluzioni per l'Ambiente, divisione composta da diverse società che integrano una gamma articolata e completa di servizi ambientali per i produttori di rifiuti speciali, con un ruolo attivo anche nel comparto della raccolta dei rifiuti pericolosi.

<https://www.itelyum.com/>  
<https://www.itelyum-regeneration.com/it/>  
<https://www.itelyum-ambiente.com/>



Facile da installare, facile  
da gestire, facile da adattare  
Fino al **99%** di inquinanti acidi  
abbattuti



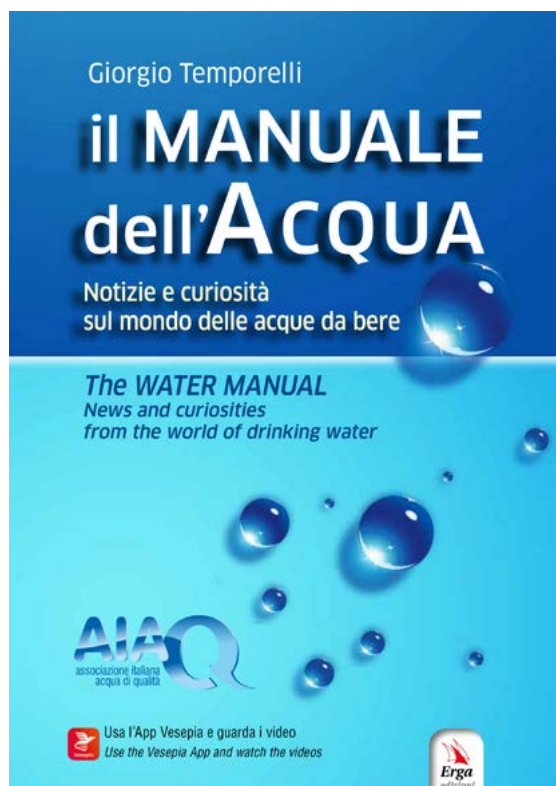
# SOLVAir<sup>®</sup>

Il nostro lavoro? Aiutare centinaia di operatori a gestire a costi contenuti le loro emissioni nel rispetto di normative sempre più severe, aumentando l'efficienza energetica dei loro impianti e migliorando i risultati industriali. Come ci riusciamo? Offrendo soluzioni personalizzate a base di sodio per abbattere i gas acidi (HCl, SO<sub>x</sub>, HF...) nei fumi di ogni tipo di attività industriale, in tutto il mondo.

CLEAN AIR SOLUTIONS FOR HIGHER PERFORMANCE.  
[solvairsolutions.com](http://solvairsolutions.com)



# Recensioni VOLUMI



## IL MANUALE DELL'ACQUA

Notizie e curiosità

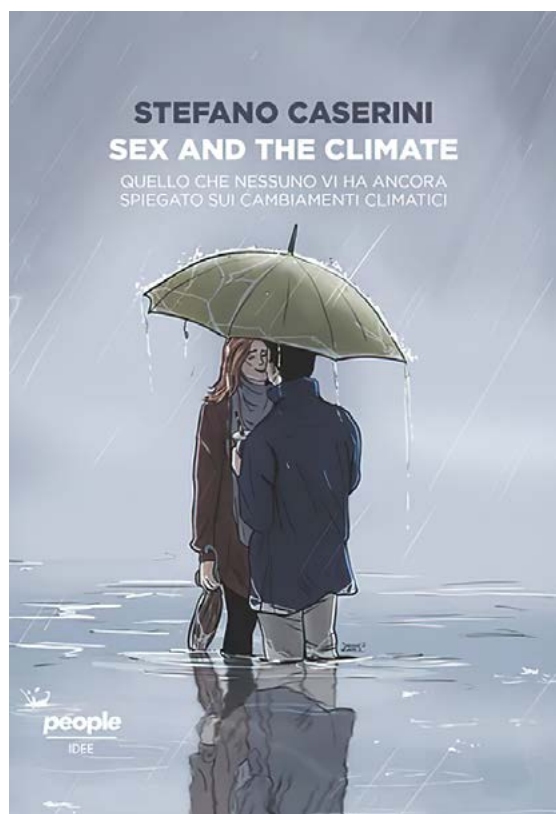
sul mondo delle acque da bere

Giorgio Temporelli

Cosa faremmo senz'acqua? L'acqua è fonte di vita, componente fondamentale di tutti gli esseri viventi. L'autore ci conduce in un viaggio volto a scoprire e conoscere l'acqua dalle sue origini sulla Terra fino ai giorni nostri. Questo manuale affronta temi diversi legati alle caratteristiche, agli usi e al trattamento dell'acqua: l'evoluzione del suo utilizzo dall'antichità ai tempi moderni, la gestione dell'acqua, il servizio idrico integrato, le differenze tra l'acqua minerale e l'acqua dell'acquedotto, i sistemi di trattamento dell'acqua potabile, gli aggiornamenti normativi. Una sezione particolarmente utile è quella dedicata ai luoghi comuni e alle pubblicità ingannevoli. Il testo scorre con un linguaggio semplice e contemporaneamente scientifico, rivolto a lettori con interessi e competenze diversi, fornendo informazioni chiare e dettagliate a chi ha necessità di approfondire le proprie conoscenze per fini professionali. Una lettura valorizzata anche dal carattere interattivo del libro, per cui è possibile fruire di alcuni approfondimenti multimediali presenti nel testo inquadrando i VesepiaCode con lo smartphone. ■

Prezzo: 27,00 €

Editore: Erga Edizioni



## SEX AND THE CLIMATE

*Quello che nessuno vi ha ancora spiegato sui cambiamenti climatici*

Stefano Caserini

Ogni anno vengono pubblicati migliaia di articoli scientifici sul cambiamento climatico, sulle sue conseguenze economiche, ambientali, sociali. Tuttavia, non si citano mai le sue connessioni con i sentimenti o il desiderio di congiunzione intellettuale e fisica fra gli esseri umani. Questo libro cerca di colmare tale lacuna, raccontando le connessioni, i punti di conflitto e le sinergie fra questi due mondi, l'eros e il clima, apparentemente lontani. Stefano Caserini passa in rassegna gli indizi disseminati nelle riviste scientifiche e le tracce sparse in giornali, libri, canzoni e negli spazi senza fine del web, nel tentativo di arrivare a delle ipotesi su come questo legame potrebbe evolvere in futuro. Tra aspetti buffi e stravaganze, l'autore ci suggerisce come prepararci e come reagire. E chissà, magari anche come trovare il modo di approfittarne e divertirci. ■

Prezzo: 14,00 €

Editore: PEOPLE S.R.L.

[www.peoplepub.it/](http://www.peoplepub.it/)



# La transizione passa anche da noi.

BolognaFiere Water&Energy - BFWE - è una società composta da BolognaFiere e Mirumir che si propone di contribuire alla conoscenza e alla condivisione delle tematiche connesse al valore economico e sociale dell'acqua, dell'energia e delle nuove applicazioni tecnologiche.

Sono parte di BFWE 6 manifestazioni:



DronItaly

FORUM  
ACCADUEO



Ricerca e innovazione, digitalizzazione e sostenibilità sono le parole chiave per BFWE. [La transizione ecologica](#) passa anche da noi.



**BolognaFiere, 12-14 ottobre 2022**

[www.bfwe.it](http://www.bfwe.it)



# Recensioni VOLUMI



## 1. Sostenibilità energetico-ambientale

*Livio de Santoli*

- 1.1 I caratteri della transizione energetica
- 1.2 Le strategie per la decarbonizzazione
- 1.3 L'efficienza energetica degli edifici

## 2. Materie prime e riciclo

*Silvia Serranti*

- 2.1 Definizioni e concetti fondamentali
- 2.2 Uso efficiente delle risorse e SDG12
- 2.3 Le materie prime critiche
- 2.4 La filiera del riciclo

## 3. Mobilità sostenibile

*Luca Persia, Davide Shingo Usami*

- 3.1 La sostenibilità dei sistemi di trasporto
- 3.2 Le politiche dei trasporti per la mobilità sostenibile
- 3.3 Innovazione e tendenze future
- 3.4 Gli strumenti di pianificazione dei trasporti

## 4. Idroclimatologia

*Francesco Cioffi*

- 4.1 Premessa
- 4.2 L'acqua nell'Agenda 2030 dell'ONU
- 4.3 L'acqua e il clima
- 4.4 La sostenibilità del ciclo dell'acqua
- 4.5 Il cambiamento climatico
- 4.6 Le azioni di contrasto al cambiamento climatico: mitigazione e adattamento
- 4.7 Conclusioni

## SCIENZE DELLA SOSTENIBILITÀ

*Energia • Risorse • Città • Acqua • Ecosistemi • Diritto*

**Francesco Cioffi, Livio De Santoli, Angelo Lalli, Fausto Manes, Luca Persia, Silvia Serranti**

*A cura di Silvia Serranti*

L'Agenda 2030 dell'ONU definisce 17 obiettivi di sviluppo sostenibile da raggiungere in tutti i Paesi e a tutti i livelli entro il 2030, sfide globali che puntano a far sì che la vita sulla Terra sia pacifica, giusta, inclusiva, prospera e in armonia con la natura e che, ora come ora, sono addirittura cruciali per la sopravvivenza dell'umanità. Depauperamento delle risorse, riscaldamento globale, inquinamento di acqua, suolo e aria, perdita della biodiversità sono infatti alcuni tra i più importanti mali che affliggono il nostro pianeta con intensità crescente e che, per essere affrontati, hanno bisogno del coinvolgimento di tutti i Paesi e di tutte le parti in causa, di investimenti nella ricerca e nell'innovazione tecnologica come nell'educazione delle nuove generazioni. L'università come luogo di formazione e di ricerca ha quindi la responsabilità di porsi come punto di riferimento culturale nella transizione verso la sostenibilità sociale, economica e ambientale. Scienze della sostenibilità raccoglie la sfida e propone un compendio degli aspetti energetici, ambientali, urbanistici e giuridici della sostenibilità da un punto di vista tecnico. Il libro è suddiviso in sei capitoli, ciascuno dei quali fornisce un inquadramento generale su una tematica legata alla sostenibilità e correlata a determinati obiettivi dell'Agenda 2030. ■

## 5. Ecologia e servizi ecosistemici

*Fausto Manes*

- 5.1 La complessità dei sistemi ecologici
- 5.2 Capitale naturale, servizi ecosistemici, biodiversità e soluzioni basate sulla natura
- 5.3 Processi ecosistemici, cambiamenti climatici e transizione ecologica
- 5.4 I servizi ecosistemici: dalle Nature-Based Solution alla Nature-Based Economy

## 6. Diritto dello sviluppo sostenibile

*Angelo Lalli*

- 6.1 Il ruolo del diritto per la sostenibilità
- 6.2 Dalla tutela del paesaggio al diritto dell'ambiente. La prevenzione, il ripristino e il risarcimento del danno ambientale
- 6.3 Verso una nozione giuridica di sviluppo sostenibile
- 6.4 Lo sviluppo sostenibile, la giuridificazione dei concetti scientifici e le tipologie di intervento
- 6.5 Gli altri strumenti di governo del sistema economico per realizzare gli obiettivi di sostenibilità: le missioni del PNRR
- 6.6 La disciplina della gestione dei rifiuti nella prospettiva dell'economia circolare
- 6.7 La normativa su produzione e consumo di energia da fonti rinnovabili per il conseguimento dell'obiettivo della neutralità climatica

Prezzo: 26,00 €

Editore: Ingegneria Zanichelli

# TRATTA - CONCENTRA - RICICLA E VALORIZZA LE TUE ACQUE REFLUE

## IL FUTURO DELL'EVAPORAZIONE



LA TUA SOLUZIONE COMPLETA  
PER LO SCARICO ZERO



VALORIZZAZIONE DEI  
CASCAMI TERMICI



TRATTAMENTO DEI REFLUI INDUSTRIALI



**NEW**

EVAPORATORE A  
RICOMPRESIONE MECCANICA

VERSIONE IBRIDA

BASSO FABBISOGNO  
ENERGETICO

FINO AL **40%** DI SALI  
NEL CONCENTRATO

## TUTTE LE TECNOLOGIE DI EVAPORAZIONE E DI SCAMBIATORI DI CALORE



ECO DRY



ECO DPM



ECO DPM SE



ECO VR-HP



ECO VR-WW



ECO VS-HP

EVAPORATORI E CONCENTRATORI SOTTOVUOTO DAL 1984

# INDEX

VOL. 9  
NUM. 2  
2022

## Editorial

Waste planning towards the circular economy

*Mario Grosso*

## Articles

Ozonolysis in anaerobic digestion: a case study at full and lab-scale

*Michela Peroni, Matteo Cascio, Davide Soderino, Davide Preda, Eleonora Pasinetti, Arianna Catenacci, Francesca Malpei, Marco Bernardi*

Environmental impacts of the educational book publishing: the case of Zanichelli

*Camilla Tua, Giulia Cavenago, Mario Grosso, Lucia Rigamonti*

## Technical-scientific communications

35 years of Survey of Sewer Drains in Trentino

*Giuliano Rizzi*

The sizing of the door-to-door collection system in the second city of Lazio for the achievement of the objectives of the circular economy in waste management and the preparation for punctual pricing

*Silvio Ascoli, Chiara Pagano, Raffaella Pomi, Alessandra Poletti, Anna Proietti*

The new waste management program of the Lombardy region: the targets of municipal waste recycling

*Michele Giavini, Giorgio Ghiringhelli, Elisa Amodeo, Silvia Colombo*

Foto in copertina  
di Marion  
from Pixabay

ISSN e e-ISSN 2420-8256

Ingegneria dell'Ambiente per il 2022 è sostenuta da:

**auma**<sup>®</sup>  
Solutions for a world in motion

**CID**  
Ing. VENTURA srl

**eco**  
TECHNO  
VACUUM EVAPORATION SYSTEMS

**Interreg**  
Fondi Europei di Sviluppo Regionale  
ITALIA SVIZZERA - ITALIE SUISSE - ITALIEN SCHWEIZ  
Ge.T.R.I.

**SIAD**

**SOLVAY**

**suez**

**VEOLIA**  
Veolia Water Technologies Italia S.p.A.