

NOVEMBER 7 - 10, 2023 RIMINI EXPO CENTRE, ITALY Organized by

ITALIAN
EXHIBITION
GROUP
Providing the future



ECONOMIA VERDE, CIRCOLARE E RIGENERATIVA: RICERCA, INNOVAZIONE E NUOVE *POLICIES*

- Environmental Monitoring & Control
- Resource Efficiency and Circular Economy
- Water Cycle and Blue Economy
- Innovation and Policies
- Circular and Regenerative Bioeconomy
- Sites & Soil Maintenance and Restoration

www.ecomondo.com

Atti dei convegni aperti a call for papers a cura di Fabio Fava







Fabio Fava (1963), laurea in Chimica e Tecnologia Farmaceutiche, Dottorato Europeo in Biotecnologie ambientali e *Laurea Honoris Causa* in Ingegneria ambientale, è Professore ordinario di "Biotecnologie industriali ed ambientali" presso la Scuola di Ingegneria dell'*Alma Mater Studiorum*-Università di Bologna dal 2005. Si interessa dello sviluppo ed ottimizzazione di processi biotecnologici per la decontaminazione di matrici ambientali inquinate e per la produzione di composti chimici, materiali e combustibili *biobased* da sottoprodotti e scarti dell'agroindustria. Ha partecipato a diversi progetti di ricerca europei (FP7) e nazionali e la sua produzione scientifica è documentata da oltre 300 lavori di cui oltre 200 su riviste internazionali di medio-alto IF. È il Delegato del Comitato di Biosicurezza, Biotecnologie e Scienze della Vita della Presidenza del Consiglio dei Ministri nel *Working Party on Biotechnology, Nanotechnology and Converging Te-*

chnologies presso l'OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) e Delegato del Ministero dell'Università e della Ricerca nell'ambito delle iniziative per la crescita blu del Mediterraneo BLUEMED, EUSAIR e WESTMED. È stato membro del High Level Group on Key Enabling Technologies e del Expert Group on Biobased products entrambi della DG GROW (precedentemente DG Enterprise and Industry) della Commissione Europea ed è stato membro del Expert Group on Eco-industries del JRC Directorate della stessa Commissione. Inoltre è stato il Rappresentante italiano nel comitato di programma Horizon2020 Societal Challenge 2: European Bioeconomy Challenges: Food Security, Sustainable Agriculture and Forestry, Marine, Maritime and inland water research" presso la Commissione Europea (DG RTD) e nell'ambito dello "State Representative Group" della "Public Private Partnership (JTI) Biobased Industry" ed ora è senior expert del Comitato di Programma del Cluster 6: Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment di Horizon EU e delegato italiano e vice chair dello State Representative Group della "Public Private Partnership Circular Biobased Europe". In aggiunta è il coordinatore scientifico della strategia nazionale per la Bioeconomia e dell'annesso Piano di implementazione nonchè il coordinatore del "Gruppo di Coordinamento Nazionale per la Bioeconomia" istituto presso il "Comitato di Biosicurezza, Biotecnologie e Scienza della Vita" della Presidenza del Consiglio dei Ministri. Infine è il Presidente del Comitato scientifico/tecnico di Ecomondo dal 2013.



© Copyright 2023 by Maggioli S.p.A.

Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A. Azienda con sistema di gestione qualità certificato ISO 9001: 2015

47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8
Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595
www.maggioli.it/servizioclienti
e-mail: clienti.editore@maggioli.it

Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento, totale o parziale con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.

Codice: 978.88.916.6767.0

Indice

- 5 Editoriale
- 7 ENVIRONMENTAL MONITORING & CONTROL
- 8 LA QUALITÀ DELL'ARIA INDOOR: LO STATO DELLE CONOSCENZE ALLA LUCE DELLE ESPERIENZE MATURATE. MODELLI DI SVILUPPO E POLITICHE DI CONTROLLO E PREVENZIONE
- 9 Perspectives of indoor air quality assessment by biomonitoring with mosses di Francesco Cardellicchio. Tito Scalo
- La percezione del rischio del radon indoor: revisione della letteratura di Francesca De Maio, Elisabetta De Maio, Giuliana Giardi, Arianna Lepore
- Applicazione con metodologia didattica EAS in Apprendimenti Situati: sviluppo di un prototipo per lo studio del ruolo della ventilazione meccanica controllata su salubrità e qualità dell'aria negli ambienti confinati processi e modelli didattici per prototyping in ambiente indoor di Enrico Vucemillo, Daniele Modonese, Eliana, Arabia, Naim Mardassi, Marzio Casarotto, Massimo Donega, Werner Tirler, Giovanni Pernigotto
- Strategie per ridurre l'esposizione al gas radon a seguito di interventi di efficientamento energetico nel settore residenziale di Clara Peretti, Alessandro Di Menno di Bucchianico, Francesca De Maio, Arianna Lepore, Silvia Brini, Barbara Castrucci
- Valutazione del flusso di odore emesso da una sorgente areale attiva: approfondimento metodologico di Giacomo Domenico Scolieri, Filippo Panzeri, Marzio Invernizzi, Selena Sironi
- 47 RESOURCE EFFICIENCY AND CIRCULAR ECONOMY
- 48 TECHNOLOGICAL ADVANCEMENTS IN WASTE TREATMENT AND RESOURCES RECOVERY
- 49 Piattaforma per la Digitalizzazione dei servizi eco-ambientali di Francesca Cipollini, Marco Sigala, Shaji Vattakunnel, Paolo Falco, Raffaele Damiano, Menakha Maheswaran, Camilla Bianchi, Marcella Toma, Marco Raimondi, Luca Bolognini
- 57 Safety considerations in waste treatment for the biogas production *di Romualdo Marrazzo*

- The closing of the circle "EMER": one waste catalyzes the treatment of another *di Giovanni Rissone, Monica Casadei, Francesco Capoti, Marzio Ferraglio*
- 72 Il piano di comunicazione nel processo di raccolta differenziata del Comune di Avola *di Sebastiano Mangiagli*
- 78 Enhancing Soil health and Nutrient Circularity in Europe: Hints from the Algaebrew Project di Antonietta La Terza, Natasha Waris, Martina Coletta, Marco Monticelli, Giovanni Caprioli, Marco Cespi, Elena Vittadini
- 83 REALIZZAZIONE E MONITORAGGIO DI SOLUZIONI INNOVATIVE PER UNA GESTIONE CIRCOLARE DI MATERIALI ED ENERGIA
- Lombardia unica regione senza EGATO rifiuti: una scelta ancora sostenibile? di Giorgio Ghiringhelli, Elda Proietti, Andrea Di Lascio, Saul Monzani
- Principi di sostenibilità nel settore rifiuti e regolazione Arera di Giorgio Ghiringhelli, Donata Ceraldi, Manuel Mora, Elda Proietti
- 99 Soluzioni innovative per l'economia circolare e la bioeconomia: esperienze e opportunità per le imprese del settore agroalimentare nell'ambito della Politica Agricola Comune (PAC) 2023/2027 di Luigi Servadei
- 106 Circolar economy clusters: la soluzione digitale per quantificare il risparmio di CO₂ e degli impianti a biogas che utilizzano deiezioni bovine *di Laura Brida*
- Misurare la sostenibilità: il valore di un indice di Circolarità (NCI) di prodotto di Ugo Pannuti, Chiara Maran, Michele Paleari
- Un'infrastruttura sostenibile: la Linea 2 della metropolitana di Torino di Paola Merafina, Francesco Azzarone, Roberto Crova, Fabio Rizzo, Stefano Strippoli
- Gestione circolare degli scarti produttivi: sviluppo di un modello LCA comparativo applicato alla produzione del tessuto non tessuto spunbond della società Tessiture Pietro Radici S.p.A. di Martina Caccia, Paolo Simon Ostan, Paola Panzeri, Francesca Pedrini, Stefano Alini
- Innovation in the electronic waste sector: a descriptive analysis of patents for WEEE recycling di Marco Compagnoni, Marinella Favot, Riccardo Priore
- La fermentazione aerobica del syngas di pirolisi dei fanghi di depurazione: una soluzione innovativa per una gestione circolare di materia ed energia di Vincenzo Pelagalli, Silvio Matassa, Marco Race, Michela Langone, Stefano Papirio, Piet N. L. Lens, Marco Lazzazzara, Alessandro Frugis, Luigi Petta, Giovanni Esposito
- Da rifiuto a risorsa: esperienze e proposte da ARPA Campania ed ARPA Lombardia di Marco Ciccarelli, Nadia Fibbiani, Lorena Cozzi, Roberta Meroni

- Soluzioni per la prevenzione, gestione e monitoraggio dei resi nel settore cosmetico di Elisa Amodeo, Giulia Houston, Giulia Detomati, Federica Mirani
- Progetto pilota di raccolta differenziata tramite Ecoisole Informatizzate Comune di Bastia Umbra (PG) di Massimo Pera, Marco Bagnini, Valentina Piermatti

169 WATER CYCLE AND BLUE ECONOMY

- 170 WATER PROJECTS EUROPE @ ECOMONDO: CLUSTERS, SYNERGIES AND INTERFACE WITH MARKET PLAYERS AND PROBLEM OWNERS
- Batterie esauste catalizzano la sostenibilità del fashion (e la ZDHC) di Giovanni Rissone, Monica Casadei, Francesco Capoti, Marzio Ferraglio
- 179 THE CHALLENGES OF THE REVISED URBAN WASTEWATER TREATMENT DIRECTIVE
- Politiche e approcci per la pianificazione e il monitoraggio degli interventi infrastrutturali irrigui per il riutilizzo delle acque reflue depurate in agricoltura di Marianna Ferrigno, Veronica Manganiello, Raffaella Pergamo, Myriam Ruberto, Marica Furini, Luca Adolfo Folino, Nadia Crisponi
- Sviluppo di una piattaforma innovativa che permette la gestione digitalizzata delle campagne di spandimento di fanghi di depurazione di Giacomo Gardini, Elisa Casaletta, Leonardo Visconti, Paolo Sturini

195 INNOVATION AND POLICIES

- 196 VERSO UN PROGRAMMA NAZIONALE PER LA SIMBIOSI INDUSTRIALE: PROSPETTIVE E OPPORTUNITÀ PER L'ITALIA
- 197 Future thinking to take action today: mettere le buone pratiche in pratica di Antonio Franceschini, Caterina Mazzei, Mariagrazia Berardi
- 204 Prospettive e limiti dell'attuale assetto normativo rispetto alla realizzazione dell'economia circolare *di Francesca Bonino, Valentina Cavanna*
- 209 L'uso dell'LCA nelle aziende multinazionali del packaging tra standard consolidati e nuovi framework e linee guida di Valentino Tascione, Alberto Simboli, Michele del Grosso, Andrea Raggi
- Responsabilità Estesa del Produttore e Circolarità nel settore tessile: Stato dell'arte e prospettive di Raffaella Taddeo, Veronica Casolani, Alberto Simboli
- Recupero e valorizzazione di materassi in poliuretano a fine vita di Claudio Fresia, , Marco Bergonzoni, Luca Montermini
- WaStudy: l'osservatorio italiano del mercato dei rifiuti speciali di Alberto Marazzato, Francesca Bergonzoni

239 CIRCULAR AND REGENERATIVE BIOECONOMY

- 240 BIOWASTE: XXV CONFERENZA SUL COMPOSTAGGIO E DIGESTIONE ANAEROBICA. SESSIONE TECNICA
- Il progetto "ABRIOPACK": Effetto del compost ottenuto aggiungendo imballaggi in plastica compostabile ai rifiuti organici sulla salute del grano e sul microbioma della rizosfera di Antonietta La Terza, Martina Coletta, Aldo D'Alessandro, Gianni Sagratini
- Valutazione dell'efficienza della digestione anaerobica di impianti a scala reale mediante test di laboratorio di Mariangela Soldano, Erika Sinisgalli, Mirco Garuti, Chiara Noto, Sergio Piccinini
- Gli impianti minimi Arera alla prova dei ricorsi al TAR: cosa succederà agli impianti per il trattamento della frazione organica? di Giorgio Ghiringhelli, Michele Giavini, Elda Proietti, Paolo Pagani, Giuseppe Sbarbaro
- Verso una gestione sostenibile dei rifiuti: analisi di efficienza dei processi di trattamento e recupero della FORSU nelle regioni italiane di Antonio D'Alessio
- Miglioramento del BMP dei fanghi attivi mediante l'utilizzo di materiali conduttivi di Carlo Limonti, Caludiana Ramundo, Giulia Maria Curcio, Tiziana Andreloli, Alessio Siciliano
- Fertilizzanti organici ottenuti da differenti processi di trattamento. Effetti al suolo e ruolo nella decarbonizzazione di Silvia Silvestri, Andrea Cristoforetti, Stefano Pedò, Daniela Bertoldi, Daniela Bona
- Smart Food Waste Collection in Cascais Challenging the Portuguese status quo di Luís Capão, Paulo Leal, Vera Melo

289 SITES & SOIL MAINTENANCE AND RESTORATION

- 290 STRATEGIE SOSTENIBILI PER LA BONIFICA DEI SITI INQUINATI: EVOLUZIONI DELLA RICERCA APPLICATA NAZIONALE E INTERNA-ZIONALE
- Use of Life Cycle Assessment (LCA) to optimize the development of an innovative remediation technology The case of ERASE di Gabriele Beretta, Elena Sezenna, Giovanni Dolci, Lucia Rigamonti, Sabrina Saponaro, Claudio Carnabuci, Daniele Vezzoli
- Bonifica di siti inquinati da metalli e idrocarburi: un approccio didattico per la ricerca di metodi sostenibili di decontaminazione di Francesca Realini
- 306 ISCO con ozono per la bonifica di acquifero contaminato da idrocarburi ed eteri di Andrea Crema, Michela Peroni, Davide Soderino, Eleonora Pasinetti, Francesca Grecolini

Editoriale

Gli articoli raccolti in questo volume riguardano alcuni dei contributi presentati alle principali conferenze di Ecomondo 2023, svoltosi a Rimini dal 7 al 10 novembre 2023.

Environmental monitoring & control

Gli articoli raccolti, selezionati e valutati insieme ai coordinatori di questa sessione, riguardano la qualità dell'aria indoor ed in particolare i rischi sanitari nei diversi ambienti e le strategie
per un loro controllo e mitigazione come la progettazione degli interventi di efficienza energetica, di ventilazione naturale e meccanica, di monitoraggio, ecc.; nei contributi presentati
vengono anche ben evidenziati i punti di forza e le difficoltà oggettive emersi nella recente
emergenza sanitaria legata alla pandemia di COVID-19.

Resource efficiency and circular economy

Gli articoli presentati in questa sessione sono dedicati alle azioni e all' innovazione tecnologia implementate in diversi contesti territoriali al fine di attuare gli obiettivi europei di economia circolare. Oltre ad un maggiore impegno nelle politiche nazionali e nelle iniziative di gestione, su questo fronte infatti servono progressi tecnologici, che potrebbero consentire di aumentare il valore degli scarti smaltiti, recuperare i prodotti secondari e raggiungere un migliore bilancio energetico. Questi risultati porterebbero l'Europa a ridurre il ricorso alle discariche e a fornire materie prime pregiate riducendo la dipendenza da altri Paesi e riducendo il gap di circolarità.

Altri temi presentati e discussi in un secondo gruppo di articoli sono i nuovi orientamenti nell'ambito delle dichiarazioni ecologiche da parte delle aziende e le revisioni nella gestione di imballaggi e loro rifiuti, con una particolare attenzione alle microplastiche. La prevenzione, la raccolta efficiente, il riciclo ed il recupero di materiali ed energia devono essere infatti accompagnati dal monitoraggio e dalla valutazione della loro sostenibilità, per un concreto raggiungimento degli obiettivi SDGs 2030, e questo necessità innovazione ma anche e soprattutto la condivisione delle buone pratiche e dei casi di successo. In detti articoli sono riportati esempi di successo sulle priorità indicate implementati da istituzioni e associazioni industriali di produttori regionali e nazionali.

Water cycle and blue economy

Altri contributi riguardano la gestione e valorizzazione della risorsa idrica. Alla luce del Green Deal e del Piano d'Azione "Zero Pollution" dell'Unione Europea, si avverte sempre più la necessità di *policies* e tecnologie per la prevenzione e la gestione di inquinamenti della risorsa idrica da sostanze mobili e persistenti e da contaminanti emergenti, con il supporto di soluzioni digitali. Le azioni sinergiche di innovazione europea possono ispirare sia l'espansione che

la replica di soluzioni ecoinnovative insieme a cambiamenti sistemici. La *Urban Waste Water Treatment Directive (UWWTD)* elaborata dalla commissione Europea ha introdotto obiettivi altamente sfidanti che dovrebbero tradursi in nuovi obblighi per un migliore controllo dell'inquinamento annesso al deflusso urbano e alla gestione delle acque piovane; sono stati imposti standard più rigorosi nella rimozione dei nutrienti e la necessità di un trattamento quaternario avanzato per la rimozione di microinquinanti, soprattutto di origine farmaceutica e cosmetica, considerati in questo momento fra i più abbondanti inquinanti emergenti. Inoltre gli stessi impianti devono assicurare la neutralità energetica insieme a un'adeguata gestione dei fanghi (ovvero la produzione di biogas) che migliori la circolarità. Infine, è necessario valutare anche gli impatti associati alla qualità e al destino dei fanghi di depurazione, per affrontare la revisione della direttiva sui fanghi di depurazione. I documenti di questa sessione trattano proposte per una gestione intelligente delle acque reflue con il riutilizzo delle acque pulite e dei fanghi ottenuti.

Innovation and policies

Nel giugno 2022, la "Strategia Nazionale di Economia Circolare" (SNEC) ha individuato la simbiosi industriale come *policy* per la transizione verso l'economia circolare. A tal fine, è stato pubblicato, successivamente, il Cronoprogramma di attuazione della SNEC che prevede alcune prime misure per sostenere la simbiosi industriale a livello operativo e cioè: l'approvazione dei «Progetti Faro di economia circolare», (inv. 1.2 della M2C1) legati al PNRR; lo sviluppo e l'applicazione dello strumento delle reti di impresa e dei distretti circolari in collaborazione con i diversi stakeholder; e una piattaforma digitale per favorire le sinergie simbiotiche tra le diverse aziende. Gli articoli di questa sessione presentano alcune delle iniziative nazionali, anche private, implementate nell'ambito del programma nazionale di simbiosi industriale.

Circular and regenerative bioeconomy

La Bioeconomia rigenera la biodiversità, gli ecosistemi terrestri e marini e l'ambiente in generale. In questa sessione quest'anno sono racchiusi contributi sul riciclo del rifiuto organico con la produzione di diversi tipi di fertilizzanti organici (ammendanti e concimi), utili al mantenimento della fertilità organica del suolo, ma anche di composti di interesse per diverse applicazioni industriali.

Sites & soil maintenance and restoration

Infine alcuni contributi degli Atti di Ecomondo di quest'anno sono dedicati al monitoraggio e controllo ambientale, e in particolare all'innovazione nel settore delle tecnologie e strategie di gestione e ottimizzazione della bonifica di siti, con casi studio che mettono in luce l'effettiva portata degli interventi in campo ma anche i loro limiti.

Questa raccolta di articoli potrà essere utile per coloro che non hanno potuto partecipare ad Ecomondo 2023 e rappresenta una preziosa fonte di informazioni e di stimoli a sostegno di uno sviluppo della *Green, Circular and rigenerative Economy* in Italia, in Europa e nel Mediterraneo.

ENVIRONMENTAL MONITORING & CONTROL

LA QUALITÀ DELL'ARIA INDOOR: LO STATO DELLE CONOSCENZE ALLA LUCE DELLE ESPERIENZE MATURATE. MODELLI DI SVILUPPO E POLITICHE DI CONTROLLO E PREVENZIONE

I cinque contributi presentati in questa sessione sono diretti a presentare le conoscenze acquisite in questi anni sulla qualità dell'aria indoor (rischi nei diversi ambienti, strategie di controllo, progettazione degli interventi di efficienza energetica, attenzione alla ventilazione naturale e meccanica, nuove tecniche di monitoraggio, sensoristica dedicata, formazione, ecc.) evidenziando i punti di forza e le difficoltà oggettive emersi nel recente shock pandemico.

A cura di: Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo & Istituto Superiore di Sanità

Presidenti di sessione:

Gaetano Settimo, Istituto Superiore di Sanità Gianluigi de Gennaro, Università di Bari

Perspectives of indoor air quality assessment by biomonitoring with mosses

<u>Francesco Cardellicchio, f.cardellicchio@gmail.com</u> – CNR – Institute of Methodologies for Environmental Analysis, Tito Scalo (Potenza, Italy)

Summary

Indoor air quality assessment is important for human health, especially in residential areas affected by industrial activities. Indoor monitoring is often hampered by the lack of cheap and easy-to-use measuring devices. Mosses have been shown to be effective bioindicators of air pollution and have been widely used in the evaluation of the airborne deposition of inorganic and organic pollutants. Their use allows large-scale and low-cost air quality measurements, even if there are still critical issues related to the standardization of operating procedures. The purpose of this work was to verify the applicability of the "moss-bags" technique in the monitoring of heavy metals present above all in atmospheric particulate matter. A residential area of Taranto was chosen as a case study, located near industrial settlements The results obtained made it possible to determine the accumulation factors, confirming the effectiveness of the technique in assessing exposure to particular environmental situations.

Riassunto

La valutazione della qualità dell'aria "indoor" è importante per la salute umana, soprattutto in aree residenziali influenzate da attività industriali. Il monitoraggio "indoor" è spesso ostacolato dalla mancanza di dispositivi di misura economici e facili da usare. I muschi si sono rivelati efficaci bioindicatori dell'inquinamento atmosferico e sono stati ampiamente utilizzati nella valutazione di deposizioni atmosferiche di inquinanti inorganici e organici. Il loro utilizzo consente misure della qualità dell'aria su larga scala e a basso costo, anche se permangono criticità legate alla standardizzazione delle procedure operative. Lo scopo di questo lavoro è stato quello di verificare l'applicabilità della tecnica dei "moss-bags" nel monitoraggio di metalli pesanti presenti soprattutto nel particolato atmosferico. Come caso di studio è stata scelta un'area residenziale di Taranto, localizzata in prossimità di insediamenti industriali. I risultati ottenuti hanno consentito di determinare i fattori di accumulo, confermando l'efficacia della tecnica nella valutazione dell'esposizione a particolari situazioni ambientali.

1. Introduction

Indoor air quality assessment is important for human health, both in workplaces and in residential areas influenced by industrial activities. Several studies have shown that the air inside homes, as well as that of workplaces, can be more polluted than expected, especially near large industrial settlements. For these reasons, the assessment of indoor air quality is central to the quantification of human exposure risk [1]. Measurement techniques based on chemical-physical methods and automatic analyzers have been the most important source of information on indoor air quality [2], even if most of these determinations were expensive and

referred to a few hours or days. Effectively, long-term indoor monitoring is often hampered by the lack of cheap and easy-to-use measuring devices. In several studies, mosses (such as Hypnum cupressiforme) have proven to be effective biomonitors of air pollution and atmospheric depositions of inorganic and organic pollutants. The use of these bioindicators allows for large-scale and low-cost assessments, in relation to the ability of mosses to adsorb pollutants and provide integrated responses on air quality. However, there are still critical issues related to the standardization of operating procedures, Hylocomium splendens and Hypnum cupressiforme species were the most recommended in the experimental protocol of the "European Moss Survey" for the assessment of metal deposition in the atmosphere [3,4]. Two types of biomonitoring are clearly differentiated based on the use of mosses to evaluate atmospheric contamination: (1) passive biomonitoring, using moss that grows naturally in a particular area, and (2) active biomonitoring, transplanting moss from other locations. The "moss bag" technique is one of the active methods of biomonitoring. It was originally introduced by Goodman and Roberts [5] and later modified by Little and Martin [6]. This technique has many advantages over passive monitoring: a well-defined exposure time, a known original concentration of pollutants, flexibility in site selection, and the number of stations that can be chosen. The moss-bag method is particularly suitable for monitoring sites with relatively high pollutant levels, such as highly industrialized urban areas. The "moss bag technique" involves exposing moss samples contained within mesh bags to monitor for the presence of contaminants in the air. In recent years, active biomonitoring with transplanted mosses has been used in an increasing number of studies [7-9], even if its use in indoor environments, influenced by a contaminated air, is still low [10-13]. The purpose of this study was to verify the applicability of the moss bag technique for the indoor monitoring of metals present, above all, in suspended atmospheric particulate matter. The residential area of Taranto near large industrial plants was taken as a reference, with different reference stations located at different distances from the industrial area. The metals analyzed were chosen in relation to the specific pollution situations. The results obtained allowed the evaluation of the bioaccumulation factors for each metal, the comparison with the atmospheric deposition data, confirming the possibility of using the technique in long-term monitoring in indoor environments exposed to particular environmental situations.

2. Moss materials and experimental design

For moss-bags preparation, the Hypnum cupressiforme, was collected in a non-contaminated area (Orimini wood) according to Cenci [14]. Moss samples were taken from multiple sites, so that the sample could be unaffected by natural variability. After collection, the sample was stored in polyethylene containers, washed with nitric acid and conditioned with bidistilled water. In the laboratory, the moss samples, after the elimination of soil residues, were washed with bidistilled water and dried in a desiccator until reaching dry weight. For the preparation of the moss-bags, 400 mg of dry moss were placed in a nylon mesh with a diameter of 1-2 mm, previously washed and conditioned with 10% nitric acid. Each bag was closed with nylon thread, forming spherical moss-bags with a diameter of 3-4 cm. The moss inside the bag was not compressed to allow air circulation, even in the central part of the sample. The moss-bags were exposed in five locations located at monitoring stations (Fig. 1). Two stations have been located in the Tamburi district of Taranto city, most affected by industrial pollution. In particular, the observation stations were: station 1 (ex Hospital Testa area), station 2 (Tamburi district, Macchiavelli Street), station 3 (Tamburi district, Archimede Street), station 4 (Paolo VI district), station 5 (Municipality of Statte). Three moss-bags were placed at each station. The exposure period (autumn-winter) was nine weeks, in relation to the prevalence of north-westerly winds that push industrial contamination towards the urban area. After the exposure period, the mosses were removed from the bags and dried at 45 °C for 48 hours. For each station, the material was combined into a single sample. An aliquot of sample, was dried at 105 °C to evaluate water loss and report metal concentrations by dry weight. Samples dried were then ground in an agate mill: 0.25 g of sample was then subjected to acid digestion with 70% nitric acid (9 ml) and 30% hydrogen peroxide (1 ml) in a microwave oven (170 °C, 130 psi for 25 min.). After digestion, the samples were diluted to 50 mL with milliQ water. The determination of the metals Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, Al, Fe, Hg was carried out by ICP-MS.



Fig. 1 - Location of the observation stations

3. Results

Tab. 1 shows the metals levels in the moss-bags analyzed in the five monitoring stations, compared with the background levels before exposure. Fig. 2 shows the distributions of the various elements in the five monitoring stations, compared to metals levels in moss before exposition.

STATIONS	Cd	Hg	Ni	Zn	Al	As	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	V
1	0.94	0.29	2.25	52	1448	0.30	3.91	6.86	1897	67	4.48	3.86
2	4.82	0.08	2.26	51	1541	0.33	3.47	3.21	1819	67	4.15	3.77
3	0.93	0.15	2.41	54	1609	0.36	4.03	7.18	1764	78	4.34	4.29
4	1.24	0.24	2.45	66	1893	0.41	4.73	7.92	1883	73	4.85	4.33
5	1.25	0.20	2.35	54	1645	0.39	3.87	8.0	1865	80	4.82	4.21
before exposition	0.45	0.07	1.50	12	912	0.20	3.00	4.30	482	61	3.36	2.55

Tab. 1 – Metal concentrations (mg/Kg d.w) in moss-bags in the five exposure stations

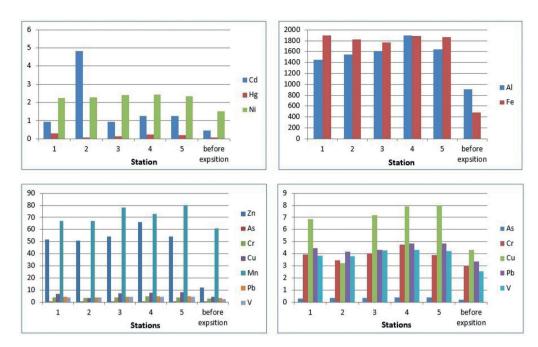


Fig. 2 - Distribution of the various metals (mg/Kg d.w) in the five exposure stations

As can be seen from Tab. 1 and Fig. 2, in all stations there was an increase in the concentrations of all metals in moss-bags analised, compared to the moss sample before exposition (blank). In particular, the average concentration levels of Zn in the various stations were about five times higher than for blank, those of Fe about four times higher and those of copper about two times. In station 2 of the Tamburi district an increase of Cd of about ten times compared to the blank was observed. In all stations, an increase in the levels of Al, Zn and Fe has been observed.

It is evident that the different distribution of the metals depends both on the different metal concentration in the atmospheric particulate, but above all on the ability of the moss to bind the metal in the accumulation sites. The ability of metals bioaccumulation, is in fact linked to the fact that mosses do not have a protective cuticle, nor thick epidermal cell walls; therefore their tissues are easily permeable to water and metal ions. Cell wall constituents have numerous negatively charged groups that act as efficient cation exchangers. Groups with specific metal chelating activities are probably also present.

As regard metals, Iron and manganese are characteristic metals of steel workings. Iron has no toxicological relevance, while manganese is a risk factor for its toxicity. It is important to highlight the fact that while iron is ubiquitously present in atmospheric dust, also having terrigenous origin, manganese is a typical metal of steel production and is found in the particulate resulting from the plants of such activities. Cadmium is often associated with zinc ores, while lead is an impurity in zinc ores. Cadmium is one of the metals harmful to human health due to its significant toxicity.

The results obtained were statistically processed: by means of the Pearson linearity test; Tab. 2 shows the correlation coefficients (p < 0.05) between the concentrations of the various metals. Table 2 shows the strong correlations between the concentrations of Al-As, Al-Zn, Cr-Zn, Ni-V; this could derive from the common origin of the metals. In particular, Ni and V derive from petroleum refining processes, while Al, As, Zn and Cr from emissions characteristic of metal processing.

	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn	Hg
Al	1.00											
As	0.92	1.00										
Cd	-0.22	-0.09	1.00									
Cr	0.83	0.66	-0.61	1.00								
Cu	0.46	0.55	-0.34	0.58	1.00							
Fe	0.13	0.01	-0.16	-0.05	0.05	1.00						
Mn	0.40	0.69	-0.53	0.27	0.66	-0.35	1.00					
Ni	0.87	0.87	-0.49	0.81	0.64	-0.20	0.67	1.00				
Pb	0.67	0.54	-0.63	0.71	0.83	0.61	0.50	0.55	1.00			
V	0.76	0.85	-0.66	0.75	0.80	-0.14	0.83	0.96	0.66	1.00		
Zn	0.94	0.77	-0.33	0.93	0.53	0.32	0.20	0.79	0.70	0.68	1.00	
Hg	0.11	-0.24	-0.77	0.56	0.19	0.68	-0.03	0.09	0.64	0.21	0.38	1.00

Tab. 2 - Correlation coefficients between the various metals found in the sampling stations

Multivariate analysis (cluster analysis) was applied to a data set of five stations and 12 variables (metal concentrations: Hg, Cd, Cu, Zn, As, Pb, Ni, V, Cr, Mn, Al anf Fe). Fig. 3 shows the dendrograms of the relationships between the various stations.

From the analysis of the dendrograms in Fig. 3, four main groupings relating to the 5 observation stations can be observed. As can be seen, stations 2 and 3 (Tamburi district) are correlated to each other, demonstrating a similar situation of exposure to contamination. Station 5 (municipality of Statte) is secondarily linked to those of the Tamburi district. The municipality of Statte represents the most distant station from the industrial area of the five examined, even if the direction of the winds and the dispersion of atmospheric particulate matter also influence this area.

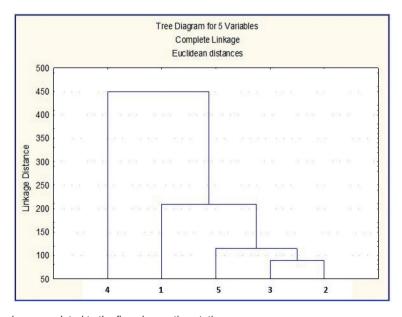


Fig. 3 – Dendrogram related to the five observation stations

Obviously, the accumulation of metals in mosses is linked to air contamination, in particular to the composition of the atmospheric particulate matter and to dry depositions. From surveys conducted by Arpa Puglia [15], in the stations of the Tamburi district the average values of PM10 have varied in recent years between 21 and 25 µg/m³: the metals mainly associated with the particulate matter are arsenic (0.3 ng/m³), cadmium (0.1 ng/m³), nickel (2.1 ng/m³) and lead (4.0 ng/m³). It is interesting to note that the metal deposition fluxes detected in 2021 in a monitoring station in the Tamburi district were respectively 5 µg/(m²d) for As, 0.17 µg/(m²d) for Cd, 7.6 µg/(m²d) for Ni, 27 µg/(m²d) for Pb, 22 µg/(m²d) for Zn, 15290 µg/(m²d) for Fe and 331 µg/(m²d) for Mn [15]. These data demonstrate that Zn, Fe and Mn are the metals most present in dry depositions, thus confirming the greater accumulation found in the moss-bags of the present study.

3. Conclusions

The results obtained showed that the exposure of *Hypnum cupressiforme* moss-bags could be a promising tool for long-term biomonitoring not only in outdoor but also indoor environments. However, some considerations need to be made for indoor monitoring. A disadvantage of the technique could arise from relatively small increments for different elements compared to the concentrations before exposure. Very often the musks used do not come from perfectly uncontaminated areas: therefore, increases in concentration could be observed only after long periods of exposure, especially for indoor monitoring. However, the correspondences between the metals bioaccumulated in the moss-bags and those characteristic of atmospheric deposition in areas most affected by environmental contamination, demonstrate how the technique illustrated in this work could represent a valid tool for assessing long-term exposure also in indoor environments.

References

- [1] Katsouyanni K., (2003) Ambient air pollution and health. Br. Med. Bull, 68:143-56.
- [2] Madureira J., Slezakova K., Silva A.I., Lage B., Mendes A., Aguiar L., Pereira M.C., Teixeira J.P., Costa C., (2020) Assessment of indoor air exposure at residential homes: Inhalation dose and lung deposition of PM10, PM2.5 and ultrafine particles among newborn children and their mothers. Sci. Total. Environ., 717, 137293.
- [3] Macedo-Miranda G., Avila-Pérez P., Gil-Vargas P., Zarazúa G., Sánchez-Meza J.C., Zepeda-Gómez C., Tejeda S., (2016) Accumulation of heavy metals in mosses: A biomonitoring study. Springer Plus, 5(1), 715.
- [4] Basile, A., Sorbo, S., Aprile, G.G., Conte, B., Cobianchi, R.C., Pisani, T., Loppi, S., (2009) Heavy metal deposition in the Italian "triangle of death" determined with the moss *Scorpiurum circinatum*. Environ. Pollut., 157, 2255–2260.
- [5] Goodman G.T., Roberts T.M., (1971) Plants and soil as indicators of metals in the air. Nature, 231, 287-292
- [6] Little I.P., Martin M.H., (1974) Biological monitoring of heavy metal pollution. Environmental Pollution, 6, Issue 1, 1-19.
- [7] **Fernandez J.A., Aboal J.R., Carballeira A.,** (2004) Identification of pollution sources by means of moss bags. Ecotoxicol. Environ. Saf., 59(1), 76–83.
- [8] Adamo P., Crisafulli P., Giordano S., Minganti V., Modenesi P., Monaci F., Pittao E., Tretiach M., Bargagli R., (2007) Lichen and moss bags as monitoring devices in urban areas. Part II: trace element content in living and dead biomonitors and comparison with synthetic materials. Environ. Pollut., 146 (2), 392–399.
- [9] Capozzi F., Giordano S., Aboal J.R., Adamo P., Bargagli R., Boquete T., Di Palma A., Real C., Reski R., Spagnuolo V., Steinbauer K., Tretiach M., Varela Z., Zechmeister H., Fernandez J.A., (2016) Best options for the exposure of traditional and innovative moss bags: A systematic evaluation in three European countries. Environ. Pollut., 214, 362–373.

- [10] Alradady A.S., Davies B.E., French M.J., (1993) A new design of moss bag to monitor metal-deposition both indoors and outdoors. Sci. Total. Environ., 133 (3), 275–283.
- [11] Capozzi F., Di Palma A., Adamo P., Sorrentino M.C., Giordano S., Spagnuolo V., (2019) Indoor vs. outdoor airborne element array: a novel approach using moss bags to explore possible pollution sources. Environ. Pollut., 249, 566–572.
- [12] Świsłowski P., Vergel K., Zinicovscaia I., Rajfur M., (2022) Mosses as a biomonitor to identify elements released into the air as a result of car workshop activities. Ecological Indicators, 138, 108849.
- [13] Vuković G., Urošević M.A., Razumenić I., Kuzmanoski M., Pergal M., Škrivanj S., Popovic A., (2014) Air quality in urban parking garages (PM10, major and trace elements, PAHs): Instrumental measurements vs. active moss biomonitoring. Atmospheric Environment, 85(2–3), 31–40.
- [14] **Cenci R.M.**, (2007) Linee guida per l'utilizzo di muschi indigeni, muschi trapiantati e suoli per valutare le ricadute di contaminanti organici e inorganici. Commission Joint Research Centre, 36 pp.
- [15] Arpa Puglia, (2021) Il monitoraggio della qualità dell'aria a Taranto. Aggiornamento 2021, 101 pp.

La percezione del rischio del radon indoor: revisione della letteratura

<u>Francesca De Maio, francesca demaio@isprambiente.it,</u> Elisabetta De Maio, Giuliana Giardi, Arianna Lepore – ISPRA (Istituto Superiore Protezione e Ricerca Ambientale), Roma

Riassunto

Il radon è la seconda causa di morte per cancro ai polmoni ed è classificato cancerogeno umano di gruppo 1. È quindi di primaria importanza sondare il livello di conoscenza e di percezione della problematica da parte della popolazione. Scopo di questo articolo è analizzare attraverso una revisione della letteratura scientifica la percezione del rischio del radon indoor. Dall'analisi emerge che la percezione del rischio del radon indoor è stata scarsamente indagata e che la popolazione ha una inadeguata conoscenza della problematica, anche se una maggiore consapevolezza si riscontra nelle aree ad alto rischio radon. Inoltre, si rileva che i proprietari di casa e la popolazione di livello socioeconomico più elevato, sono più propensi a effettuare test e misure di bonifica del radon. Emerge, infine, la necessità di promuovere strategie di comunicazione multidisciplinari che utilizzino tutti i canali disponibili e che siano associate a incentivi economici.

Summary

Radon is the second leading cause of lung cancer deaths and is classified as a Group 1 human carcinogen. It is therefore of primary importance to assess the level of knowledge and awareness of this issue among the population. The purpose of this article is to analyze, through a review of the scientific literature, the perception of indoor radon risk. The analysis reveals that the perception of indoor radon risk has been poorly investigated and that the population has inadequate knowledge of the issue, although greater awareness is observed in high radon risk areas. Furthermore, it is noted that homeowners and individuals with higher socioeconomic status are more likely to conduct radon testing and remediation measures. Finally, there is a need to promote multidisciplinary communication strategies that utilize all available channels and are associated with economic incentives.

1. Introduzione

La percezione del rischio coinvolge due dimensioni: una dimensione cognitiva, legata alla conoscenza e alla comprensione del rischio, e una dimensione emotiva, che include i sentimenti; componenti della reazione al rischio e del modo in cui le persone si comportando rispetto ad esso [1]. Nella vita reale, il modo in cui le persone giudicano e valutano i rischi si basa su una combinazione di fattori psicologici e socioculturali che modellano le loro risposte comportamentali [2]. Poiché la percezione del rischio è il processo attraverso il quale gli individui attribuiscono significato e stabiliscono valori a diverse minacce, i rischi percepiti sono quindi influenzati dalla storia di vita personale e dalle esperienze passate all'interno di una comunità specifica, plasmando euristiche che influenzano l'approccio alla realtà [3]. La percezione del rischio radon è di interesse scientifico ma anche politico-sanitario per l'importante ruolo del gas nell'insorgenza del cancro al polmone nella popolazione generale. Il radon è, infatti, una delle principali cause di cancro ai polmoni. Si stima che causi tra il 3% e il 14% di tutti i tu-

mori polmonari in un Paese, a seconda del livello medio nazionale di radon e della prevalenza del fumo. La percezione del rischio radon, legata innanzitutto a un'opportuna conoscenza della problematica, è anche soggetta a pregiudizi inconsci, cognitivi ed emotivi che influenzano il modo in cui vengono elaborate le informazioni. Il rischio radon è percepito come distante, incerto e facilmente dato per scontato; questi pregiudizi possono agire per minimizzare la percezione del rischio [4].

Scopo dello studio è analizzare il livello di conoscenza generale del gas radon e la percezione del rischio sanitario ad esso correlato.

2. Aspetti regolatori

In base ai risultati di numerosi studi epidemiologici, nel 2009 l'Organizzazione Mondiale della Sanità [5] ha proposto un livello di riferimento di 100 Bq m⁻³ per minimizzare i rischi per la salute dovuti al radon indoor, nel caso in cui tale livello non potesse essere raggiunto a causa di condizioni specifiche del Paese, il livello di riferimento scelto non dovrebbe superare i 300 Bq m⁻³. In Europa, è stato incluso nella Direttiva europea 2013/59/Euratom sulla protezione dalle radiazioni un livello di riferimento non superiore a 300 Bq m⁻³. Secondo la Direttiva Euratom del 2013, il radon è un inquinante indoor che deve essere monitorato negli ambienti di lavoro e nelle abitazioni, con limiti stabiliti e obblighi di controllo dell'esposizione. Il Governo italiano ha recepito la Direttiva europea con il D. Lgs. 101/20 (e disposizioni integrative e correttive), raccogliendo e riordinando in un unico provvedimento la normativa di settore.

3. Metodologia

La ricerca è stata effettuata utilizzando le seguenti banche dati: <u>ArXiv, DOAJ, Jstor, PubMed, Science Direct, Ebsco, MDPI</u>. Il periodo analizzato riguarda gli ultimi 10 anni: da gennaio 2011 a maggio 2023. Le parole chiave utilizzate sono: "*risk perception*" and "*Indoor radon*". Dalla lettura del titolo e degli abstract sono stati selezionati 20 articoli su 204 reperiti (6 review e 14 ricerche sul campo) e a seguito dell'analisi approfondita degli articoli ne è stato escluso uno. Nelle ricerche sul campo sono state utilizzate diverse metodologie di indagine: questionari di tipo misto (che utilizzano metodi di raccolta dati sia qualitativi sia quantitativi), questionari strutturati costruiti *ad hoc* o inseriti in questionari statistici e banche dati realizzati per fini più ampi (per esempio indagini demoscopiche).

4. Discussione

Nello studio di Kong *et al.*, [6], effettuato nella Corea del Sud, la percezione della qualità dell'aria indoor è stata confrontata con l'effettivo inquinamento. L'indicatore utilizzato per valutare l'inquinamento indoor è la concentrazione di CO₂, attraverso sistemi di allarme che segnalano il superamento della soglia, identificata in 1000 ppm stabilita dal Ministero dell'ambiente della Corea del Sud nel *Indoor air quality control act*, 2013. Lo studio ha dimostrato che esiste una debole correlazione tra inquinamento interno e la sua percezione e che in assenza di una notifica di allarme è difficile per gli occupanti percepire la presenza di inquinamento indoor. Gli studiosi indicano che tale metodologia potrebbe essere applicata ad altri inquinanti, tra cui anche al radon. In sintesi, le strategie di allarme che informano sulle condizioni effettive dell'inquinamento indoor possono aiutare gli occupanti a mantenere un ambiente interno sano.

Djounova & Ivanova [7] hanno analizzato i risultati di un'indagine bulgara sulla percezione del rischio in generale e sulle modalità di comunicazione, compresa la percezione del rischio radon. Dal sondaggio è emersa una scarsa conoscenza del radon e dei rischi sulla salute ad esso associati e della necessità di effettuare test di misurazione. Inoltre, si è evidenziato che le principali fonti di informazioni non sono le autorità preposte, ma internet, i social media e

la televisione, anche se il 40% del campione che conosce la problematica ha riferito di essere informato sui rischi per la salute dai medici di base.

Nello studio di Cori *et al.* [4] è stata effettuata una revisione sistematica della letteratura scientifica che ha analizzato la percezione del rischio del radon, la consapevolezza e la conoscenza al fine di fornire spunti sulle azioni di comunicazione. In sintesi, gli autori hanno osservato che la percezione del rischio del radon è bassa, soprattutto se confrontata con altri rischi ambientali, e vi sono molti fattori che ne influenzano la percezione: caratteristiche sociali, economiche, emotive e psicologiche devono essere considerate per individuare le chiavi appropriate nei diversi contesti al fine di rendere efficaci le azioni di prevenzione, coinvolgendo direttamente attori influenti e la popolazione generale in azioni di comunicazione, specialmente nelle aree ad alto rischio di esposizione domestica al radon. Inoltre, le azioni di citizen science, in cui i cittadini sono parte attiva del processo di conoscenza, possono essere rilevanti per migliorare l'autosufficienza della comunità, la responsabilità e la qualità delle azioni preventive. In conclusione, la comunicazione del rischio e un approccio multidisciplinare possono svolgere un ruolo chiave nella prevenzione del rischio. Da notare che più della metà degli studi sulla percezione e comunicazione del rischio radon analizzati da Cori et al. sono stati condotti negli USA; è presumibile che nei Paesi che hanno adottato piani nazionali per il monitoraggio del livello di radon indoor e successivi programmi/interventi per l'abbassamento del radon si rilevi una maggiore consapevolezza del rischio indoor da parte della popolazione. Questo è confermato da Poortinga et al. [8] in uno studio del 2011 condotto in Inghilterra e Galles: gli autori hanno rilevato che coloro che vivevano nelle zone partecipanti al programma di lancio sul radon avevano livelli più elevati di consapevolezza della problematica e avevano maggiori probabilità di aver testato la loro casa per il radon rispetto a coloro che vivevano nelle zone non partecipanti al programma, così come erano più consapevoli gli abitanti nelle zone a più alto rischio radon. Gli autori hanno riscontrato che anche la posizione geografica è risultata essere un fattore importante per la consapevolezza, le percezioni e il comportamento delle persone in relazione al radon: i residenti del Galles hanno mostrato un livello di consapevolezza più basso, probabilmente perché le campagne di sensibilizzazione in questa nazione sono più limitate e avviate in tempi successivi rispetto a quanto portato avanti in Inghilterra. Khan et al. ([9], [10], [11]) hanno esplorato i determinanti che influenzano la percezione e le azioni di un campione di popolazione residente in Canada, dove nonostante la problematica del radon sia rilevante, i residenti hanno una percezione inadeguata del rischio radon e adottano azioni di protezione minime. Le popolazioni che vivono in aree geografiche caratterizzate da inverni rigidi (come appunto in Canada) devono porre maggiore attenzione alla qualità dell'aria interna, poiché trascorrono oltre il 90% del tempo in ambienti chiusi [9]. Lo scopo delle ricerche è stato quello di analizzare la percezione del rischio per la salute dei residenti e le azioni di mitigazione poste in atto. I risultati ottenuti dall'indagine hanno riportato che i residenti che avevano una consapevolezza cognitiva ed emotiva del rischio erano sufficientemente motivati ad adottare azioni preventive. La cura per la famiglia, la conoscenza di persone che avevano contratto il cancro ai polmoni e la capacità finanziaria sono stati riconosciuti fattori abilitanti, mentre la mancanza di consapevolezza, essere inquilini e non proprietari di casa e il costo degli interventi di mitigazione sono tutti elementi che ostacolano la messa in atto delle azioni preventive. In conclusione, gli autori hanno identificato le ragioni che causano il divario tra consapevolezza del rischio e adozione di azioni preventive. Inoltre, hanno rilevato che è fondamentale accrescere la conoscenza delle conseguenze sanitarie dell'esposizione al radon per motivare i residenti ad agire. Pertanto, concludono che sarebbe necessario strutturare un programma di comunicazione adeguata ed efficace sul rischio correlato al radon, che consideri gli aspetti della percezione del rischio. Tali campagne per essere efficaci devono essere integrate con politiche fiscali di incentivazione alla mitigazione. Nello studio del 2022 è stato analizzato il tema della percezione del rischio in relazione agli aspetti sociali e all'equità. La prospettiva è quella della giustizia sociale al fine di rilevare le variazioni nella percezione del rischio da parte dei residenti, l'accesso ai messaggi di comunicazione del rischio (centrale la scelta del canale di comunicazione in base alle caratteristiche demografiche e socioculturali del target di riferimento) e le visioni del mondo sulla gestione del rischio tra le diverse categorie sociodemografiche. Dall'analisi dei risultati gli autori hanno rilevato come le percezioni e visioni del mondo differiscano in base alle caratteristiche demografiche e socio-economiche, determinanti di salute, e come queste influenzino direttamente le decisioni dei residenti. Inoltre, hanno mostrato come sia centrale l'implementazione della comunicazione del rischio radon per la salute. Per garantire pari opportunità a tutti i residenti sono necessarie azioni e politiche di controllo del radon messe in atto sinergicamente da tutti i livelli di governo e attori interessati.

Già Zhang *et al.* [12] in uno studio del 2011 avevano indagato quali fattori influenzassero la decisione di un capofamiglia di porre rimedio al gas radon, rilevando cinque fattori: livelli elevati di radon, lunghi periodi di permanenza nella stessa proprietà, fumo, condizioni di privazione a livello familiare e anziani (65+ anni) che vivono da soli. Le famiglie in abitazioni con livelli di radon più elevati avevano maggiori probabilità di preoccuparsi del costo del lavoro di bonifica, mentre i fumatori e le famiglie che vivevano nella stessa proprietà per molti anni avevano meno probabilità di credere che il radon rappresentasse un rischio reale per la salute. Questi risultati forniscono un chiaro orientamento alle raccomandazioni per migliorare l'equità in un programma sul radon che dovrebbe essere sostenuto da sovvenzioni a persone con livelli di radon più elevati o con privazioni significative. Inoltre, riguardo i fumatori sarebbe opportuno considerare il possibile ruolo dei programmi di radon come parte dei programmi per smettere di fumare per ridurre i rischi di cancro ai polmoni nel loro complesso.

Turcanu et. al. [13] hanno effettuato una revisione della letteratura sulle esposizioni ai Materiali Radioattivi Naturalmente Presenti (Naturally Occurring Radioactive Material: NORM). Anche da questo studio si evince come la comunicazione sia un fattore chiave nella gestione efficace dei NORM. La gestione dei NORM è una questione complessa che richiede un approccio multidisciplinare. Gli studi scientifici sociali esistenti suggeriscono che i fattori potenzialmente correlati alle percezioni del rischio, alle preoccupazioni sociali e alle preferenze riguardo alle opzioni di bonifica o gestione del rischio includono, tra gli altri, la percezione della propria salute e della salute dei propri figli da parte dei residenti, il costo della bonifica, l'equità e la giustizia, la partecipazione della comunità alla presa di decisioni e la salvaguardia dei valori comunitari.

Uno studio condotto nell'area metropolitana di Napoli attraverso questionari [14] ha valutato lo stato di conoscenza del gas radon nella popolazione generale e negli studenti delle scuole superiori. I risultati mostrano una bassa conoscenza del gas radon (inferiore al 40%) e dei rischi ad esso associati. Gli autori ribadiscono l'importanza dell'implementazione di programmi di comunicazione e formazione per aumentare la conoscenza e la consapevolezza del radon. Gli studi di Dai [15], di Vaughn *et al.* [16] e di Siza *et al.* [17] tutti condotti negli USA in aree ad alto rischio radon (Georgia, Colorado e Iowa, rispettivamente) hanno rilevato un basso numero di test per il radon (<8%), nonostante la maggior parte della popolazione "avesse sentito parlare" di radon. La predisposizione ad effettuare test per il radon è risultata essere associata a fattori socio-demografici, culturali, razziali e agli stili vita (fumo di tabacco). Tutti gli studi raccomandano di informare la popolazione in modo chiaro e completo sui rischi sanitari conseguenti all'esposizione al radon e sull'amplificazione degli effetti quando associati al fumo, attraverso campagne di sensibilizzazione e di educazione sul radon.

Anche la revisione della letteratura di Vogeltanz-Holm *et al.* [18], effettuata su studi condotti negli Stati Uniti, ha mostrato una conoscenza diffusa ma superficiale della problematica del

radon: la maggior parte del campione non era consapevole dei rischi sanitari ad esso associati (tumore). Questa disinformazione riflette una difesa cognitiva in cui le persone credono che il loro rischio di radon sia inferiore a quello degli altri. Le conclusioni dell'articolo confermano l'importanza di una comunicazione chiara, efficace ed esaustiva al fine di incentivare una maggiore consapevolezza sulla prevenzione del cancro ai polmoni legato all'esposizione al radon, soprattutto per le persone che vivono in zone ad alto rischio, ma pure una migliore regolamentazione delle costruzioni e delle misure di sicurezza per prevenire l'accumulo di radon all'interno delle abitazioni anche grazie all'adozione di sistemi di rilevazione digitale che producano allarmi visibili e udibili in merito al radon.

Anche in uno studio condotto in Iran [19] la conoscenza riguardo al radon come rischio per la salute è risultata scarsa perfino tra gli operatori sanitari, che sono stati scelti come campione dello studio proprio perché si tratta di personale istruito in campi relativi alla salute e gli autori si aspettavano di interagire con persone informate rispetto al radon e quindi idonee a rispondere a domande sulla percezione del rischio. I risultati hanno mostrato anche che la disponibilità a finanziare azioni di mitigazione o risanamento ha una correlazione significativa con la consapevolezza e il rischio percepito: conoscere i pericoli per la salute come il radon e percepirli come un rischio ha una relazione positiva con l'adozione di comportamenti correlati alla salute.

5. Conclusioni

Dall'analisi della letteratura è emerso che la percezione del rischio del radon indoor è stata scarsamente indagata e che la popolazione analizzata ha una scarsa conoscenza della problematica radon e dei rischi ad esso correlati. Una maggiore consapevolezza viene riscontrata nelle aree ad alto rischio radon. Si è rilevato anche che i proprietari di casa e la popolazione di livello socioeconomico più elevato sono più propensi a effettuare test di rilevamento del radon e conseguenti misure di mitigazione o bonifica.

I cittadini più svantaggiati sono meno disposti a spendere per misurare e bonificare, presumibilmente perché sono più difficilmente raggiunti da campagne di informazione; in aggiunta, essendo il radon un gas incolore, inodore e i cui effetti si manifestano a lungo termine, il rischio sanitario associato viene percepito come distante. Le campagne di sensibilizzazione, per essere efficaci dovrebbero contenere messaggi chiari e mirati a sottogruppi specifici di popolazione, in base alle caratteristiche demografiche, alla situazione finanziaria, familiare e allo stile di vita, anche in relazione all'abitudine al fumo di tabacco. Altro fattore rilevante da considerare è la giustizia sociale: le strategie e le politiche per incentivare la messa in atto di interventi di riduzione del radon, dovrebbero prevedere incentivi fiscali anche non solo per i proprietari di casa, ma anche per le famiglie affittuarie e sostegni economici per quelle economicamente e socialmente disagiate.

Vista la rilevanza sanitaria del radon, è fondamentale informare il pubblico in modo appropriato accrescendo la consapevolezza sui potenziali rischi correlati all'esposizione senza generare apatia, o eccessiva fiducia, e neppure stress e allarmismo ingiustificati.

Una strategia di comunicazione efficace è fondamentale per promuovere un cambiamento nella percezione del rischio [20]; è essenziale un approccio multidisciplinare e multilivello che preveda la collaborazione costante con diversi esperti. Nel caso specifico del radon è necessario fornire informazioni sui rischi sanitari ad esso correlati, sui metodi di misura del gas e sulle azioni di bonifica per ridurre la concentrazione di radon negli edifici [5]. Andrebbero utilizzati tutti i canali di comunicazione disponibili, inclusi internet [21] e i social network. I messaggi dovrebbero essere comprensibili, poiché la percezione generale dell'esposizione ai radionuclidi è complessa per il pubblico generale. Sarebbe utile coinvolgere i medici di medicina generale nella comunicazione dei rischi per la salute legati all'esposizione al radon, per la

fiducia che la popolazione ripone in loro. La comunicazione del rischio può svolgere un ruolo rilevante specialmente se integrata con esperienze di *citizen science*, in cui i cittadini assumono direttamente l'iniziativa e la responsabilità di produrre conoscenza e gestire i risultati e le azioni di prevenzione insieme alle autorità competenti.

Bibliografia

- [1] **Slovic, P.,** 1992. Perception of risk: Reflections on the psychometric paradigm. In Social Theories of Risk; Krimsky, S., Golding, D., Eds.; Praeger: New York, NY, USA, 1992; pp. 117–152
- [2] Renn, O.; Rohrmann, B. Cross-Cultural Risk Perception: A Survey of Empirical Studies; Springer: Boston, MA, USA, 2000.
- [3] Tversky, A.; Kahneman, D. 1974 Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases: Biases in judgments reveal some heuristics of thinking under uncertainty. Science 1974, 185, 1124–1131.
- [4] Cori L, Curzio O, Donzelli G, Bustaffa E, Bianchi F., 2022. A Systematic Review of Radon Risk Perception, Awareness, and Knowledge: Risk Communication Options. Sustainability. 2022; 14(17):10505.
- [5] **World Health Organization**. (2009). WHO handbook on indoor radon: A public health perspective. Geneva: World Health Organization.
- [6] Kong, M., Kim, H., Taehoon H. 2023. An effective alerting strategy to facilitate occupants' perception of indoor air quality: By alarming concentration of indoor air pollution. Environmental Pollution, Volume 325, 121428.
- [7] **Djounova, J.N. &. Ivanova, K.G.** 2023. Bulgarian public opinion survey for risk perception including radon and suggestions for communication. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, Volume 16, Issue 2, 2023.
- [8] **Poortinga W., Bronstering K., Lannon S.**, Awareness and perceptions of the risks of exposure to indoor radon: a population-based approach to evaluate a radon awareness and testing campaign in England and Wales. Risk Anal. 2011 Nov;31(11):1800-12.
- [9] Khan SM, Krewski D, Gomes J, Deonandan R. 2019. Radon, an invisible killer in Canadian homes: perceptions of Ottawa-Gatineau residents. Can J Public Health. 2019 Apr;110(2):139-148.
- [10] Khan, Selim & Gomes, James & Chreim, S.. 2021. A Mixed Methods Population Health Approach to Explore Radon-Induced Lung Cancer Risk Perception in Canada. Cancer control: journal of the Moffitt Cancer Center. 28. 10732748211039764. 10.1177/10732748211039764.
- [11] Khan SM, Gomes J and Nicol A-M. 2022. Residents' perception and worldview about radon control policy in Canada: A pro-equity social justice lens. Front. Public Health 10:946652.
- [12] Wei Zhang, Yimmy Chow, Jill Meara, Martyn Green, Evaluation and equity audit of the domestic radon programme in England. Health Policy. 2011 Sep;102(1):81-8.
- [13] Turcanu C., Perko T., Muric M., Mrdakovic Popic J., Geysmans R., Železnik N. 2022. Societal aspects of NORM: An overlooked research field, Journal of Environmental Radioactivity, Volumes 244–245.
- [14] **D'Avino V.; Coppola F.;Raulo A.;Pugliese M.**, 2020 Assessment of radon knowledge in neapolitan area, Fresenius Environmental Bulletin. 2020;29(12A):11190-11196.
- [15] **Dai D.** (2022). Neighborhood characteristics of low radon testing activities: A longitudinal study in Atlanta, Georgia, United States. Science of The Total Environment Volume 834, 15 August 2022.
- [16] Vaughn AM, Lohmiller K, James KA, Van Dyke M, Whitesell N, Allshouse WB, Macaluso F, Kelley C. 2022. Characterization of Colorado residents and radon reduction behaviors through latent class analysis and path models. J Environ Radioact. 2022 Sep;250:106910.
- [17] Siza C., Morrison, M., Harris, S., Hatch, T., Tyler M. 2018. Assessment of Community Awareness and Practices Concerning Indoor Air Pollutants Madison County, Alabama, June 2017. MMWR Morb Mortal Wkly Rep. 2018 Apr 20; 67(15): 447–450. Published online 2018 Apr 20.
- [18] **Vogeltanz-Holm N,. Schwartz G.G**, Radon and lung cancer: What does the public really know?, 2018 Journal of Environmental Radioactivity, Volume 192, 2018, Pages 26-31, ISSN 0265-931X, https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.05.017.
- [19] Hazar N, Karbakhsh M, Yunesian M, Nedjat S, Naddafi K. Perceived risk of exposure to indoor

- residential radon and its relationship to willingness to test among health care providers in Tehran. J Environ Health Sci Eng. 2014 Aug 23;12(1):118.
- [20] Waldron, C.-A., van der Weijden, T., Ludt, S., Gallacher, J., & Elwyn, G. (2011). What are effective strategies to communicate cardiovascular risk information to patients? A systematic review. Padent Educadon and Counseling. 82(2), 169 181.
- [21] **Perko T., Turcanu C.** Is internet a missed opportunity? Evaluating radon websites from a stakeholder engagement perspective, 2020. Journal of Environmental Radioactivity Volume 212, 2020, 106123, ISSN 0265-931X.

Applicazione con metodologia didattica EAS in Apprendimenti Situati: sviluppo di un prototipo per lo studio del ruolo della ventilazione meccanica controllata su salubrità e qualità dell'aria negli ambienti confinati – processi e modelli didattici per prototyping in ambiente indoor

Enrico Vucemillo*, <u>Daniele Modonese** Daniele.Modonese@scuola.alto-adige.it</u>, Eliana Arabia**, Naim Mardassi**, Marzio Casarotto**, Massimo Donega***, Werner Tirler***, Giovanni Pernigotto****, *ITCAT "A.e P. Delai", Bolzano, **IISS "G. Galilei", Bolzano, ***Eco Research, Bolzano, ***Libera Università di Bolzano.

Riassunto

Il progetto è caratterizzato dallo studio del ruolo della ventilazione meccanica controllata (VMC) sulla salubrità e qualità dell'aria negli ambienti confinati, utilizzando la metodologia didattica EAS (Episodi di Apprendimento Situato).

Il prototipo didattico sarà progettato per fornire agli studenti un ambiente di apprendimento interattivo in cui potranno esplorare e sperimentare gli effetti della ventilazione meccanica controllata. Saranno presenti strumenti e sensori per monitorare la qualità dell'aria, come la presenza di particolato fine, temperatura, umidità e anidride carbonica. Gli studenti potranno regolare i parametri di ventilazione, come la velocità del flusso d'aria e l'apertura delle finestre, e osservare come ciò influisce sulla salubrità dell'aria.

Summary

The project is characterized by the evaluation of controlled mechanical ventilation on the health and air quality in restricted areas, using the situated events learning methodology. The educational prototype will be designed to provide students with an interactive learning environment in which they can explore and test the effects of controlled mechanical ventilation. The air quality will be monitored using various instruments and sensors capable of detecting parameters such as temperature, humidity, the presence of carbon dioxide, and fine particles. Students will be able to set ventilation parameters, including airflow speed and window openings, in order to observe and evaluate how these factors influence air health.

1. Introduzione

Gli edifici scolastici rappresentano una categoria di ambienti in cui si svolgono una molteplicità e una eterogeneità di attività e funzioni didattico-educative, in rapido progresso, che si differenziano dalle altre tipologie di edifici sociali, in quanto il "valore" e la "qualità" infrastrutturale degli ambienti, l'adattabilità, la connettività e l'elevato tasso di occupazione degli spazi presentano un forte impatto sulla salute, sull'istruzione, sull'educazione, e sui profili lavorativi.

In tali ambienti sono presenti una serie di fonti di rischio per la salute degli studenti (oltre 8,5 milioni in Italia), del personale docente comune e di sostegno, dei tecnici, del personale amministrativo e non docente (collaboratore scolastico, operatori esterni, ecc.) [1].

Nelle scuole ciò assume una rilevanza ancora maggiore, perché la densità di studenti presenti nelle aule è elevata (circa 0,5 studenti/metro quadro). Nelle scuole materne ed elementari i soggetti sono più giovani e anche più fragili, quindi maggiormente affetti dai rischi dettati da una scarsa qualità dell'aria. È infine dimostrato che comfort termo-igrometrico e qualità dell'aria possono influenzare la qualità dell'apprendimento e le prestazioni degli studenti.

2. Relazione

Dati gli obiettivi di contenuto disciplinari/curricolari degli indirizzi di chimica e biotecnologie ambientali e costruzioni ambiente e territorio e la sempre maggiore necessità di costruire competenze, si è ritenuto opportuno individuare e approfondire il tema dell'aria indoor con le classi 4F-5H-5C dell'ITT e 5A dell'ITCAT, in collaborazione con i seguenti esperti di enti esterni:

ing. **Giovanni Pernigotto** – Libera Università di Bolzano (ricercatore nel campo della Fisica Tecnica Ambientale);

dott. **Werner Tirler** e p.i. **Massimo Donegà** – Eco Research (Ente di ricerca di Bolzano che si occupa di ricerca applicata in ambito ambientale, interdisciplinare, ricerca di base e di diffusione della conoscenza);

dott. **Gaetano Settimo** – Istituto Superiore di Sanità (ricercatore e coordinatore del Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor).

Dopo la raccolta dei dati già individuati nella precedente campagna di rilievi nel periodo novembre 2021 – marzo 2022, gli studenti, dopo aver approfondito lo studio di una matrice reale e applicando le corrette tecniche di campionamento e seguendo tutta la sequenza delle fasi del processo analitico, hanno individuato possibili soluzioni intervenendo nella progettazione architettonica ed ideando uno scambiatore aria-aria azionato in modalità automatica o semiautomatica garantendo una ventilazione ottimale grazie ai dati analizzati da una centralina di controllo.

Una prima fase del progetto ha riguardo una serie di attività seminariali organizzate per gli studenti delle classi IV e V dell'ITCAT A. e P. Delai e del IISS G. Galilei. Tali attività formative, dal titolo "Ciclo di seminari sulla qualità dell'ambiente confinato e il relativo monitoraggio", si sono svolte presso la Libera Università di Bolzano e hanno riguardato le diverse dimensioni del comfort negli ambienti confinati, ovvero il comfort termo-igrometrico, la qualità dell'aria indoor, il comfort acustico e quello visivo. Obbiettivo dei seminari è stato di fornire agli studenti una panoramica degli aspetti principali del benessere indoor e delle modalità di rilevazione oggettiva e soggettiva, evidenziando iterazioni tra le diverse dimensioni da impiegarsi nello sviluppo del progetto di prototipo di finestra da parte degli studenti.

Al fine di porre l'accento sugli aspetti di misura oggettiva e di rilevazione del comfort, ciascun seminario si è distinto in due parti: la prima di carattere teorico e la seconda di stampo sperimentale nelle medesime aule in cui veniva erogata la prima parte. Gli studenti hanno pertanto avuto modo di (1) vedere in opera tradizionali strumenti per il monitoraggio delle grandezze

fisiche caratterizzanti ciascuna dimensione del comfort indoor e (2) partecipare attivamente alla rilevazione soggettiva, esprimendo in modo anonimo la propria percezione e condizioni di benessere, evidenziando possibili cause di discomfort laddove presenti. L'attività di misura è stata poi integrata di una visita presso i laboratori di Building Physics presso il NOI TechPark di Bolzano a dimostrazione delle attività di ricerca sul comfort indoor e di misura in ambiente controllato. L'attività di rilevazione soggettiva del comfort ha infine consentito agli studenti di apprezzare la variabilità intrinseca propria dell'essere umano per quanto concerna la soddisfazione e il benessere percepiti negli ambienti confinati.

Per quanto riguarda gli aspetti specifici della ventilazione degli ambienti, gli studenti hanno appreso quali sono i principali contaminanti rilevabili nell'aria indoor e come impiegare la misure dalla concentrazione di anidride carbonica come proxy per la valutazione della qualità dell'aria, attribuendo correttamente la classe di qualità secondo EN 16798-1 in base alle misure rilevate. Hanno potuto altresì comprendere come la ventilazione degli spazi possa impattare sulla qualità dell'aria dell'ambiente confinato – e pertanto come sviluppare un controllo basato sulla concentrazione di CO2 per la regolazione dell'apertura e chiusura del prototipo di finestra.

Come anticipato, è stato illustrato agli studenti come la sola qualità dell'aria attraverso lo studio della sindrome dell'edificio malato / Sick Building Syndrome (SBS) e della malattie associate agli edifici / Building Related Illness (BRI) non possa essere considerata sufficiente per garantire un benessere globale agli occupanti. Si è evidenziato pertanto come il discomfort termico locale possa essere causato dalla ventilazione tramite l'apertura delle finestre (e.g., correnti d'aria fredda) e come l'apertura della finestra a scopo di aerazione possa causare discomfort acustico in caso di sorgenti di rumore esterne (e.g., vicine strade, etc.). Sebbene tali aspetti non siano stati implementati nella regolazione dell'apertura e della chiusura del sistema prototipo, illustrato nelle sezioni successive e mirato principalmente a garantire alti livelli di IAQ, si è evidenziata la possibilità di tenerne conto in sviluppi avanzati, per esempio considerando anche la temperatura dell'aria immessa nell'ambiente (per prevenire discomfort locale da correnti d'aria fredda) e l'incremento del livello di pressione sonora a causa di sorgenti di rumore esterno.

3. Il progetto

Il modello di sviluppo per un prototipo reale nel 2023 di una finestra dotato di scambiatore aria-aria per ottimizzare flussi aria esterno/interno è attualmente in funzione come test nel Laboratorio ITI Galilei a Bolzano e prevede, per il 2024, di progettare attraverso il connubio tra design e sensori, ambienti speciali dedicati. Le finalità è quello di ottenere un'elevata qualità ambientale interna negli spazi abitativi prendendo come oggetto di studio gli edifici scolastici, con l'obiettivo di salvaguardare la salute dei ragazzi e incentivare le capacità d'apprendimento.

Una rete di sensori intelligenti riconoscerà le situazioni critiche, migliorerà il comfort ed il benessere attraverso la regolazione delle condizioni della stanza come **temperatura**, **umidità**, **acustica**, **illuminazione e migliorerà il risparmio energetico**.

Quest'ultima rete verrà controllata dall'intelligenza artificiale, la quale si occuperà di garantire il miglior ambiente possibile.

Verrà sviluppato quindi un nuovo concetto di scuola intelligente e di interior design su misura per le esigenze degli studenti, prendendo in considerazione diversi ambienti: classe, laboratorio, officina, palestra e ufficio.

Lo studio permetterà di raggiungere elevati standard di qualità dell'aria (Comfort IAQ) e di implementare i parametri di luce, aria, acustica consentendo agli studenti di migliorare il loro apprendimento. Con l'aiuto di tecnologie di domotica smart gli spazi ideali forniranno supporto nella vita quotidiana senza la necessità di input o azioni specifici degli utenti finali, garantendo allo stesso tempo un elevato livello di privacy.

4. Risultati attesi

Le attività di ricerca del Progetto come sviluppo dello studio avviato nel 2020 sono volte a sviluppare:

- nuove soluzioni di interior design integrate con la tecnologia per consentire il monitoraggio e la segnalazione dei rischi;
- una nuova soluzione tecnica e un'interfaccia software in grado di collegare e gestire insieme diversi sensori intelligenti;
- redigere delle linee guida per adeguare ad esigenze speciali gli standard e le interfacce della domotica;

L'aspetto formativo e didattico fondamentale è rappresentato dalla possibilità di acquisire un metodo di analisi rispetto ad un problema e della successiva elaborazione e presentazione.

Al termine dell'attività gli studenti hanno acquisito numerose competenze trasversali tra le quali il problem solving ed il team working e la metodologia EAS che prevede l'apprendimento situato in casi reali.

Gli studenti hanno potuto:

constatare la complessità di una matrice reale;

esplorare le problematiche relative alla determinazione di un'analisi (aria outdoor, ricambi d'aria, tecnologia dell'impianto di riscaldamento/ventilazione, parametri microclimatici, dimensioni dell'area, abitudini a attività degli occupanti, materiali da costruzione, materiali di arredo, macchinari e altre sorgenti) [1, 2];

progettare e realizzare in modo autonomo i controlli analitici sui campioni reali, (posizionamento, tempistiche, ecc.. [1]), nonché procedere all'analisi chimica dei campioni raccolti; analizzare criticamente i risultati di una indagine allo scopo di migliorare la procedura d'analisi:

individuare le strategie per la riduzione degli elementi inquinanti e del miglioramento qualità dell'aria attraverso nuovi materiali, dispositivi ricircolo aria, materiali traspiranti, sensori di rilevamento dinamico e gestione domotica [2-4];

sviluppare eventuali competenze progettuali per soluzioni tecniche e domotiche all'avanguardia.

Si riporta di seguito (Figg. 1-6) alcuni immagini del progetto realizzato e della componentistica.



Fig. 1 – Unità di ventilazione meccanica con scambiatore di calore



Fig. 2 – VMC inserita dopo lo smontaggio di una finestra presso l'Istituto Galilei di Bolzano e riposizionamento sulla stessa.

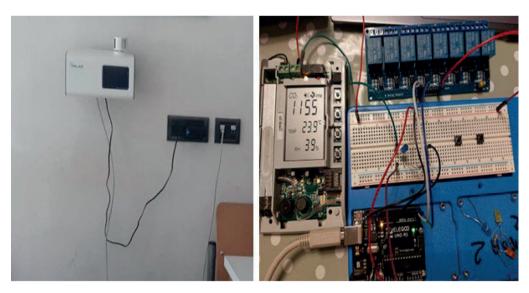


Fig. 3 – Unità di controllo unita al sensore di rilevamento (a sinistra) e componentistica assemblata per monitorare il funzionamento del sistema (a destra).

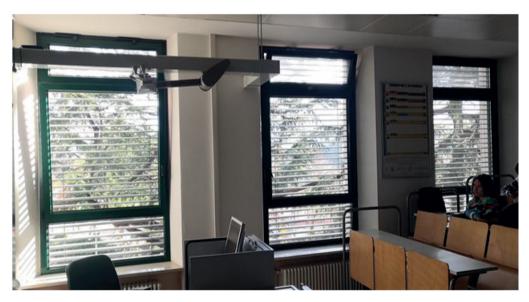


Fig. 4 – Telaio della finestra prima stato di fatto aula chimica ITI Galilei Bolzano.

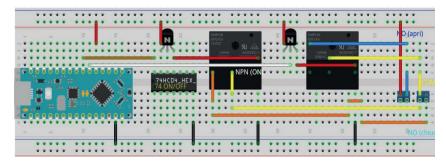


Fig. 5 - Scheda di controllo elaborata per gestire lo scambiatore aria inserito nella finestra

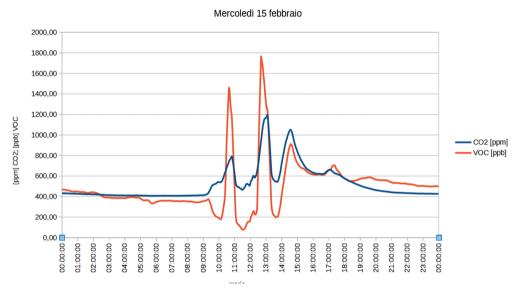


Fig. 6 - Monitoraggio CO2 e VOC in aula con prototipo di VMC

5. Conclusioni

Lo studio ha messo in luce l'importanza che assume la qualità dell'aria indoor negli ambienti scolastici e in generale in tutti gli ambienti indoor, poiché è indice di un livello psico-fisico degli occupanti che può influire sulle prestazioni e sul rendimento delle attività scolastiche e lavorative.

A questo aspetto si comprende anche come i parametri ottimali di acustica ed illuminotecnica concorrano a definire un ambiente ideale e una ridefinizione della qualità indoor.

Operativamente il cuore della rete sarà rappresentato da Arduino Nano 33 BLE Sense, un microcontrollore che ha integrato un'intelligenza artificiale. L'Arduino può rilevare il movimento, la luce, il suono, la temperatura e dispone di connessione Bluetooth. Verranno messe delle luci dalla luminosità regolabile, termostati, scambiatori di calore, finestre meccaniche. Protagonisti: Studentesse, studenti e docenti delle scuole secondarie di II grado della provincia di Bolzano interessate allo sviluppo di un processo di studio della qualità delle aule negli edifici scolastici, in collaborazione con Uffici ed Enti pubblici e privati.

Obiettivo:

partendo quindi dallo studio della qualità negli ambienti scolastici, costruire conoscenza e cultura attorno al tema salute della negli ambienti scolastici. Promuovere la collaborazione attraverso un Living Lab Dinamico.

Monitoraggio:

scelta dell'edificio/ambienti pilota ed acquisizione di tutti i dati utili al progetto mediante idonea strumentazione.

Salute degli occupanti:

identificazione delle criticità sullo stato di salute degli occupanti legate alle condizioni dell'edificio.

Azione: proposta di azioni specifiche di mitigazione.

Utilizzo dei risultati:

il progetto deve diventare un modello di gestione a beneficio di tutta la comunità.

Modalità di lavoro:

ricerca-azione partecipata, sulla base della condivisione delle esigenze formative delle scuole. Brain storming, team working, collaborative learning, problem solving e impresa formativa simulate, EAS methodology.

L'esperienza ha dimostrato la validità di una collaborazione tra ambiente scolastico e comunità scientifica che si struttura negli enti di ricerca e università ed ha contribuito ad un transfer cognitivo utile anche ai docenti come modello didattico da riproporre.

I risultati ottenuti sono da considerarsi come l'inizio di una nuova ricerca finalizzata anche alla realizzazione ex novo o al risanamento di ambienti esistenti, ripensando a 360 gradi in maniera più completa le progettazioni per le opere di ristrutturazione, per una definizione di qualità totale degli spazi in cui viviamo.

Bibliografia

- [1] Gaetano Settimo, Lucia Bonadonna, Paola M.B. Gucci, Monica Gherardi, Angelo Cecinato, Silvia Brini, Francesca De Maio, Arianna Lepore, Giuliana Giardi, Istituto Superiore di Sanità "Qualità dell'aria indoor negli ambienti scolastici: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici" Rapporti ISTISAN 20/3.
- [2] Pernigotto G., Gasparella A., 2021. Analysis of the potential of smart ventilation controls: application to a university classroom in Bolzano, Atti di Roomvent 2020, Torino, Italia, 15-18 febbraio 2021.
- [3] Dugaria A., Pernigotto G., Gasparella A., 2022. *Indoor Conditions in Educational Buildings: the Case of Bolzano Schools*, Atti dell'ASHRAE topical conference IAQ 2020: Indoor Environmental Quality Performance Approaches Transitioning from IAQ to IEQ, Atene, Grecia, 4-6 maggio 2022.
- [4] Albertin R., Pernigotto G., Gasparella A., 2022. Assessment Of The Covid-19 Contagion Risk In University Classrooms With TRNSYS And TRNFLOW Simulations, Atti dell'ASHRAE topical conference IAQ 2020: Indoor Environmental Quality Performance Approaches Transitioning from IAQ to IEQ, Atene, Grecia, 4-6 maggio 2022.

Strategie per ridurre l'esposizione al gas radon a seguito di interventi di efficientamento energetico nel settore residenziale

<u>Clara Peretti (Consulente ISPRA), clara@ingperetti.it,</u> Alessandro Di Menno di Bucchianico, Francesca De Maio, Arianna Lepore, Silvia Brini – ISPRA Barbara Castrucci – Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica, Dipartimento Sviluppo Sostenibile Margherita Arpaia – Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica, Dipartimento Sviluppo Sostenibile

Riassunto

Vi è evidenza scientifica che alcuni interventi di efficientamento energetico possano sensibilmente incrementare le concentrazioni di radon negli edifici riqualificati. Similmente, negli edifici nuovi si possono rilevare concentrazioni di radon elevate a causa dell'ermeticità dell'involucro quando questi non vengano correttamente progettati.

È quindi necessario affrontare in modo sinergico il tema del radon, dell'efficientamento energetico degli edifici e della qualità dell'aria indoor. Questo nuovo approccio integrato dovrà essere analizzato, studiato e approfondito per renderlo operativo tramite opportuni strumenti. L'analisi proposta partirà dalle valutazioni e dai monitoraggi ante e post operam per poter garantire e documentare il rispetto e l'adozione virtuosa di questo nuovo approccio. Il presente studio è condotto nell'ambito dell'Accordo di collaborazione MASE-ISPRA per il supporto all'Attività di prevenzione e riduzione del rischio di esposizione al radon indoor.

Summary

There is scientific evidence that some energy efficiency measures can significantly increase radon concentrations in refurbished buildings. Furthermore, high radon concentrations can be detected in new buildings due to the hermetic nature of the envelope when these are not properly designed. It is therefore necessary to deal synergistically with the issue of radon, the energy efficiency of buildings and indoor air quality. This new integrated approach will have to be analysed, studied and deepened to make it operational through appropriate tools. The proposed analysis will start from ante and post-construction evaluations and monitoring, in order to guarantee and document compliance with and the virtuous adoption of this new approach. This study is conducted within the framework of the MASE-ISPRA collaboration agreement to support the activity of prevention and reduction of the risk of exposure to indoor radon.

1. Introduzione

Nell'ambito dell'Accordo di collaborazione MASE-ISPRA per il supporto all'Attività di prevenzione e riduzione del rischio di esposizione al radon indoor sono approfondite due tematiche: la prima prevede lo studio e l'analisi degli impatti sulla qualità dell'aria indoor a seguito

degli interventi di efficientamento energetico in modo che le ricadute anche in termini di riduzione dell'esposizione al gas radon negli ambienti confinati siano positive. La seconda si focalizza sulla gestione della qualità dell'aria indoor finalizzata alla minimizzazione dell'esposizione agli inquinanti indoor con particolare attenzione al gas radon.

La letteratura scientifica sull'esposizione al gas radon nel settore residenziale a seguito di interventi di efficientamento energetico è molto ampia; i principali studi sono stati condotti in Svizzera [1, 2] in Germania [3], nel Regno Unito [4] e in Russia [5].

Similmente, negli edifici nuovi si possono rilevare concentrazioni di radon elevate a causa dell'ermeticità dell'involucro quando questi non vengano correttamente progettati. Quest'ultimo tema è però attualmente ancora dibattuto a causa delle differenti conclusioni ottenute nei diversi studi scientifici. Yang [2] ha documentato che gli edifici di nuova costruzione presentano mediamente concentrazioni minori di radon rispetto agli edifici più datati (risanati e da risanare). Al contrario Yarmoshenko [5] ha evidenziato che gli edifici nuovi in Russia presentano concentrazioni più elevate.

Per Symonds [4] le abitazioni più vecchie, in particolare quelle costruite prima del 1900, tendono ad avere concentrazioni di radon più elevate e quelle costruite con muri di arenaria o granito e pietra bianca hanno livelli particolarmente alti. Questi risultati sono coerenti con quelli riportati da Gunby et al. nel 1993 [6].

Ad oggi non esiste per il contesto italiano uno studio scientifico esteso e rappresentativo delle diverse aree (regioni, province o comuni), destinazioni d'uso (residenziale, scuole, uffici) e tipologie di edifici (nuovi e non, riqualificati, in muratura, in legno, in cemento armato ecc.) sull'esposizione al gas radon a seguito di interventi di efficientamento energetico. Molte novità sono state introdotte dalla pubblicazione del decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101 [7] che ha definito un chiaro quadro di riferimento per il tema radon per gli edifici residenziali e non. Nelle tabelle seguenti sono riassunti i livelli di riferimento per il radon, le tempistiche e le relative fonti normative vigenti (Tabella 1).

Destinazione d'uso	Livello di riferimento (concentrazione media annua)	Tempistiche	Riferimenti		
Tutti gli edifici	100 Bq/m³		OMS		
Abitazioni esistenti	300 Bq/m³	Dal 2020	D.lgs. n. 101/2020		
Abitazioni costruite dopo il 31.12.2024	200 Bq/m³	Dal 1° gennaio 2025	D.lgs. n. 101/2020		
Luoghi di lavoro	300 Bq/m³	Dal 2020	D.lgs. n. 101/2020		
Edifici pubblici (residenziale pubblico, uffici, scuole)	200 Bq/m³	Da dicembre 2022	Decreto 23 giugno 2022 (Criteri Ambientali Minimi per l'Edilizia)		

Tab. 1 – Livello di riferimento per le diverse destinazioni d'uso

Per quanto riguarda i documenti ad oggi in corso di predisposizione, si segnala la revisione della UNI/PdR 13:2019 la Prassi di Riferimento relativa al Protocollo ITACA dal titolo "Sostenibilità ambientale nelle costruzioni – Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità" suddivisa in tre parti (inquadramento generale e principi metodologici, edifici residenziali e edifici non residenziali).

2. Inserimento del tema radon nell'attestato di prestazione energetica e/o incentivi

Il giorno 10 maggio 2023 la Conferenza delle Regioni e delle Province autonome ha espresso parere positivo all'adozione del Piano nazionale d'azione per il radon (di seguito indicato con l'acronimo PNAR). È stata infatti sancita l'intesa, ai sensi dell'articolo 10, comma 1, del decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101 [7], sullo schema di decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri inerente all'adozione del Piano nazionale d'azione per il radon.

La bozza di PNAR definita ad aprile 2023 viene descritta di seguito, con un particolare focus per la tematica oggetto del presente articolo.

Nella parte introduttiva del PNAR riguardante i costi e le possibili fonti di finanziamento, sono descritte le proposte sul tema degli incentivi e degli attestati di prestazione energetica. Il testo riporta "[...] sarebbe certamente utile l'introduzione di specifici incentivi economici statali o regionali, o anche l'introduzione di una voce specifica sul valore di concentrazione del radon nell'ambito della certificazione energetica già obbligatoria *ex lege* nei contratti di compravendita e locazione, almeno dal 1° gennaio 2025 quando ci si aspetta che in tutti gli edifici di nuova costruzione sia rispettato il valore di 200 Bq/m³, anche a fini di equità del mercato immobiliare."

Il decreto legge 13 giugno 2023, n. 69, convertito con modificazioni dalla legge 10 agosto 2023, n. 103 [8] ha previsto tra l'altro all'art. 8 l'istituzione di uno specifico fondo per la prevenzione e riduzione della concentrazione del radon indoor e per una piena compatibilità delle misure di efficientamento energetico con i programmi di qualità dell'aria negli ambienti chiusi e con gli interventi di prevenzione e riduzione della concentrazione di radon indoor, ai sensi del decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101 [7]. La dotazione di 10 milioni di euro per ciascuno degli anni dal 2023 al 2031è finalizzata a finanziare l'attuazione di interventi di riduzione e prevenzione della concentrazione di radon indoor in eventuale sinergia con i programmi di risparmio energetico e di qualità dell'aria in ambienti chiusi. I fondi saranno assegnati alle regioni e alle province autonome di Trento e di Bolzano sulla base dell'individuazione delle aree prioritarie; in seguito saranno definiti dal Ministero dell'ambiente della Sicurezza Energetica i dettagli operativi. Rimangono applicabili le detrazioni fiscali per le ristrutturazioni e per gli interventi di efficienza energetica (bonus casa 50% – Dpr 917/86 e ecobonus 65% – decreto legge 63/2013 o maggiori percentuali in specifici casi).

L'Attestato di Prestazione Energetica (APE, detto anche, comunemente, "certificato energetico") è un documento che attesta la prestazione e la classe energetica di un immobile e indica gli interventi migliorativi più convenienti. L'APE, il cui estratto della prima pagina è riportato in Figura 1, caratterizza il fabbisogno energetico dell'edificio o dell'unità edilizia, la qualità energetica del fabbricato, le emissioni di anidride carbonica e l'impiego di fonti rinnovabili di energia che incidono sui costi di gestione e sull'impatto ambientale dell'immobile, e guida l'utente verso una scelta consapevole nel caso di acquisto, locazione o di recupero (ristrutturazione o riqualificazione).

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.

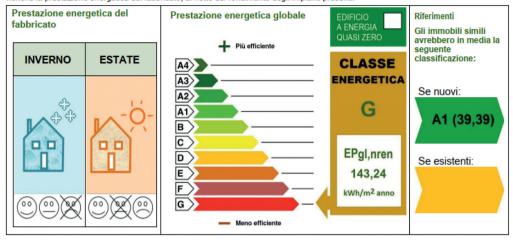


Fig. 1 - Estratto della prima pagina dell'APE

Sarebbe fortemente auspicabile l'inserimento del tema radon nell'APE, ma questo risulta complesso per gli edifici nuovi in quanto servirebbe una misurazione dei livelli di radon di almeno un anno. Allo stesso tempo anche per gli edifici da ristrutturare il dato raramente risulta disponibile. Un'alternativa potrebbe essere quella di caratterizzare l'edificio mediante la sua collocazione e le sue caratteristiche, ad esempio inserendo se è collocato in un'area prioritaria e se presenta vani con pareti o solaio (anche parzialmente) a contatto con il terreno. Inoltre, sarebbe auspicabile una informazione importante da inserire nell'APE è la presenza di indicazioni di interventi per la riduzione del radon.

A titolo di esempio si riporta in Figura 2 una elaborazione a cura degli autori.



Fig. 2 – Esempio di inserimento del valore di radon misurato (media annuale)

3. Interventi che integrano gli interventi di efficientamento energetico con il radon

3.1 Programmi di qualità dell'aria indoor ed efficientamento energetico

L'Azione 2.7 del PNAR con titolo "Connessioni con programmi di qualità dell'aria indoor ed efficientamento energetico" ha come obiettivo di armonizzare e coordinare gli interventi e le politiche legati al radon con quelli finalizzati all'efficientamento energetico degli edifici e al miglioramento della qualità dell'aria indoor. Le attività previste sono riassunte di seguito, insieme alle tempistiche.

Attività	Prodotto	Tempistiche
Censimento e analisi della documentazione tecnica e scientifica, della normativa nazionale e regionale, degli standard e delle certificazioni per l'efficientamento energetico degli edifici	Documento che raccoglie e confronta la letteratura scientifica, la normativa e le certificazioni per l'efficienza energetica in Italia e in realtà confrontabili	Primo, secondo e terzo anno*
Raccolta, analisi e valutazione delle iniziative e delle buone pratiche per il miglioramento della qualità dell'aria indoor negli edifici pubblici e privati, per individuare i parametri da prendere in considerazione, assieme al radon	Documento che descrive e valuta, commentando, la documentazione su iniziative e buone pratiche legate alla qualità dell'aria indoor	Primo, secondo e terzo anno
Elaborazione di linee guida sulla gestione della qualità dell'aria indoor negli edifici pubblici e privati, finalizzate alla minimizzazione dell'esposizione agli inquinanti con particolare attenzione al gas radon	Linee guida sulle strategie per gestire l'efficienza energetica e l'inquinamento da gas radon in modo sinergico, considerando anche la qualità dell'aria indoor	Primo, secondo e terzo anno
Individuazione di strategie supportate anche da eventuali formulazioni di proposte normative	Proposta di atto normativo che concili le politiche e le misure di efficientamento energetico con le politiche di prevenzione e riduzione dell'inquinamento da radon	Dal primo al quinto anno

^{*} dalla data di adozione del PNAR con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri.

Tab. 2 - PNAR Azione 2.7: Connessioni con programmi di qualità dell'aria indoor ed efficientamento energetico

In Figura 3 è schematizzato un esempio di conseguenze sulle concentrazioni di radon a seguito di interventi atti a ridurre il consumo energetico.

La letteratura [1-6] riporta con evidenza che la principale causa dell'incremento delle concentrazioni di radon è l'intervento di sostituzione delle finestre.

In generale tra gli obiettivi di un risanamento energetico vi è la riduzione del tasso di ventilazione. Spesso però non è prevista l'installazione di soluzioni per il ricambio dell'aria (ad esempio ventilazione meccanica controllata – VMC): questo implica che il fenomeno di diluizione degli inquinanti (radon e altri) risulti ridotto rispetto alla situazione precedente ovvero quella con infissi non a tenuta. Inoltre, diversi protocolli di certificazione presentano limiti sul dato di permeabilità all'aria dell'involucro edilizio al fine di evitare sprechi di energia.

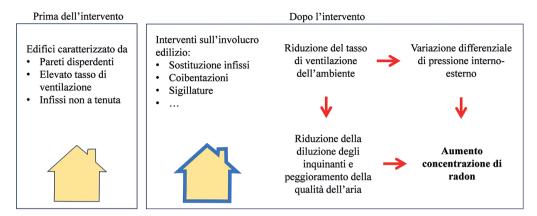


Fig. 3 - Schematizzazione dei possibili effetti sul radon indoor di interventi per efficientare gli edifici

I principali interventi per la riduzione dei consumi energetici che possono avere influenza (incremento o riduzione) sulle concentrazioni di radon sono elencati di seguito.

- Sostituzione finestre
- Sostituzione telai e vetri (infissi)
- o sostituzione schermature solari
- Riqualificazione di solaio/pareti controterra
- o Parete, pavimento, tetto: isolamento termico di superfici a contatto con il suolo o zone non riscaldate
- Riqualificazione solai e pareti a contatto con l'aria esterna
- o Parete, pavimento, tetto: isolamento termico delle superfici a contatto con l'aria esterna
- Riqualificazioni dei sistemi impiantistici
- o Impianto termico (nuove tubature, installazione di sistema radiante controterra...)
- Impianto elettrico
- Impianto smaltimento acqua
- Sistemi di ventilazione: ventilazione meccanica controllata (a doppio flusso) e ventilazione ad estrazione

Una soluzione promettente per migliorare la qualità dell'aria e ridurre i consumi energetici è la Ventilazione Meccanica Controllata – VMC. Tale tecnologia permette di ricambiare l'aria e diluire i contaminanti e al contempo recuperare energia mediante la presenza di uno scambiatore di calore. È però di fondamentale importanza un'accurata progettazione nonché conoscenza delle caratteristiche degli ambienti, in particolar modo della tenuta all'aria. Inoltre, sono necessari accorgimenti specifici come, ad esempio, lo sbilanciamento delle portate al fine di creare una leggera sovrapressione negli ambienti che permette di contrastare l'ingresso del radon.

4. Discussione

Nonostante una consolidata letteratura scientifica che ha evidenziato la stretta connessione tra gli interventi con profilo energetico e le concentrazioni di radon, il problema risulta di complessa soluzione, questo a causa di molteplici aspetti che sono descritti nell'elenco puntato sotto riportato:

- Non conoscenza della problematica: in molteplici casi il radon è un tema sconosciuto a tutti, dai tecnici agli utenti finali
- o Soluzione e strategie: formazione dei professionisti, formazione e informazione

- Tempistiche: le riqualificazioni energetiche spesso prevedono tempi di realizzazione di poche settimane o mesi, incompatibili con la valutazione annuale delle concentrazioni di radon o Soluzione e strategie: analizzare l'edificio prima della riqualificazione energetica
- Costi: nonostante i costi potrebbero essere molto ridotti o quasi annullati dai costi degli interventi di efficienza energetica le soluzioni contro il radon possono essere onerose e a priori non è mai possibile garantire l'efficacia di un intervento. In caso di sistemi attivi (con ventilatori) dovrà essere pianificata un'attenta manutenzione
- Soluzione e strategie: incentivi fiscali mirati, pianificazione sinergica degli interventi.

L'elenco può essere la base di partenza affinché i fondi previsti dall'art. 8 del decreto legge 13 giugno 2023, n. 69 [8], convertito con modificazioni dalla legge 10 agosto 2023, n. 103 siano destinati in modo mirato e siano acquisite le informazioni mancanti che possono favorire la minimizzazione delle criticità.

5. Conclusioni

L'accordo MASE-ISPRA si propone di raccogliere le migliori tecniche per la definizione di una strategia per la gestione della qualità dell'aria indoor negli edifici pubblici e privati, finalizzata alla minimizzazione dell'esposizione agli inquinanti indoor con particolare attenzione al gas radon. Questa tematica risulta rilevante nella bozza di "Piano nazionale d'azione per il radon" di prossima adozione poiché, anche in Italia, in coerenza con le politiche ambientali definite a livello europeo, stanno aumentando gli investimenti e le iniziative affinché gli edifici consumino meno energia. Una coerente protezione dal radon richiede quindi un approccio globale. Le misure puramente integrative potrebbero essere giustificabili esclusivamente per ristrutturazioni urgenti di vecchi edifici. Per edifici nuovi e per i risanamenti globali, invece, la protezione contro il radon indoor deve essere parte integrante delle normali misure costruttive.

Il presente studio è condotto nell'ambito dell'Accordo di collaborazione MASE-ISPRA per il supporto all'Attività di prevenzione e riduzione del rischio di esposizione al radon indoor.

Bibliografia

- [1] **Pampuri L., Caputo P., Valsangiacomo C.** (2018). Effects of buildings' refurbishment on indoor air quality. Results of a wide survey on radon concentrations before and after energy retrofit intervention. Sustainable Cities and Society 42: 100-106. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.07.007. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670718307121
- [2] Yang S., Pernot JG, Hager Jörin C., Niculita-Hirzel H., Perret V. and Licina D. (2019). Radon Investigation in 650 Energy Efficient Dwellings in Western Switzerland: Impact of Energy Renovation and Building Characteristics. Atmosphere 10(12) doi.org/10.3390/atmos10120777.
- [3] **Meyer W.** (2018). Impact of constructional energy-saving measures on radon levels indoors. Indoor Air. 2019;29:680–685. DOI: 10.1111/ina.12553
- [4] **Symonds et al.** (2018). Home energy efficiency and radon: An observational study. (CL Institute for Environmental Design and Engineering, Central House, London, UK). Wiley. DOI: 10.1111/ina.12575
- [5] Yarmoshenko et al. (2020). Radon concentration in conventional and new energy efficient multistorey apartment houses: results of survey in four Russian cities. Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of Russian Academy of Sciences. Nature. https://doi.org/10.1038/s41598-020-75274-4
- [6] **Gunby JA, Darby SC, Miles JC, Green BM, Cox DR**. (1993) Factors affecting indoor radon concentrations in the United Kingdom. Health Phys. 64(1): 2–12
- [7] **Decreto legislativo n. 101/2020** "Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 90/641/Euratom e

2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuiazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a) della legge 4 opttobre 2019, n. 117"

[8] **DECRETO-LEGGE 13 giugno 2023, n. 69** Disposizioni urgenti per l'attuazione di obblighi derivanti da atti dell'Unione europea e da procedure di infrazione e pre-infrazione pendenti nei confronti dello Stato italiano.

Valutazione del flusso di odore emesso da una sorgente areale attiva: approfondimento metodologico

Giacomo Domenico Scolieri giacomodomenico.scolieri@polimi.it, Filippo Panzeri, Marzio Invernizzi, Selena Sironi – Politecnico di Milano, Milano

Riassunto

La caratterizzazione delle sorgenti areali è argomento di discussione nel campo dell'olfattometria dinamica; la distinzione tra sorgenti areali attive e passive dipende dal valore di velocità di espulsione stabilito dalla normativa tecnica. Le vasche di ossidazione biologica, classificate solitamente come sorgenti areali passive, rappresentano un esempio particolare. La ventilazione operata durante l'utilizzo di un sistema a cappa wind tunnel (WT), necessaria per simulare l'effetto dell'azione del vento sul pelo libero della vasca, non è il fenomeno controllante del sistema. Il lavoro discusso si propone di analizzare, in termini di flusso di odore, i due contributi associati al fenomeno emissivo di una vasca di ossidazione. Una campagna di rilievo ha mostrato che la quasi totalità del flusso odorigeno associato alla sorgente risulta attribuibile allo strippaggio dovuto all'aerazione e che solo una parte residuale appare generato dall'effetto del vento sulla superficie liquida.

Summary

The characterisation of surface sources is an interesting topic in dynamic olfactometry; the distinction between active and passive area sources depends by the exit velocity value stated by the reference standard. An aerated tank of a wastewater treatment plant is a particular example. This type of emission is usually classified as passive area source. The flushing of a known flow rate of air within a dynamic hood such as a wind tunnel system, necessary to simulate the effect of wind action on the surface of the tank, is not the driving force of the system. The aim of this work is to analyse, in terms of Specific Odour Emission Rate (SOER), the two contributions associated with the emission phenomenon of a biological oxidation tank. A survey campaign showed that almost all the odour flux associated with the source is ascribable to stripping due to the aeration and that only a residual part appears to be generated by the effect of wind on the liquid surface.

1. Introduzione

La caratterizzazione di una sorgente emissiva può risultare un problema complesso all'interno di uno studio di impatto odorigeno. La scelta della tecnica di campionamento per il prelievo di campioni olfattometrici, volta all'ottenimento di un dato di concentrazione di odore, e di un metodo consistente ed adeguato per la stima flusso di odore emesso, è strettamente legato alla tipologia di sorgente indagata [1], [2]which represents the quantity of odor emitted per unit of time, and is expressed in odor units per second (ou·s-1. In particolare, una sorgente areale, le cui emissioni provengono da una superficie liquida o solida estesa, può essere classificata come attiva (e.g. biofiltro) o passiva (e.g. superfici di discarica, vasche di trattamento reflui) a seconda della presenza o assenza di un flusso gassoso convogliato verso l'esterno. Il metodo di campionamento, quindi, varia tra sorgente areale attiva e passiva; nel primo caso la

norma europea EN 13725:2022 suggerisce l'utilizzo di una cappa statica, mentre per quanto riguarda il secondo caso lo standard non prescrive un metodo di prelievo, ma fornisce indicazioni volte all'utilizzo di una cappa dinamica (e.g. low speed wind tunnel o flux chamber) [3]. Ciononostante, la distinzione netta tra le due tipologie di sorgente non sempre è banale. Esistono casistiche ricorrenti in cui è presente un flusso convettivo, ma non intenso; l'esempio più emblematico è rappresentato dalle vasche di ossidazione biologica, insufflate con aria dal fondo al fine di fornire ossigeno alla biomassa. A livello normativo, la EN 13725:2022 stabilisce che la velocità di espulsione minima tale per cui una sorgente può essere considerata attiva, sia pari a 0.008 m/s. Tale dato è in linea con il valore di 30 m/h riportato all'interno della norma tecnica tedesca VDI 3880:2011 [4]. Considerando tale valore all'interno della superficie di raccolta della WT, costruita secondo design illustrato negli allegati delle linee guida nazionali (0.125 m²) [5] [6], si ottiene una portata di 3600 L/h. L'esecuzione del campionamento di una sorgente aerale passiva implica il flussaggio all'interno di una cappa dinamica di una quantità nota di gas neutro (ad una velocità sotto cappa di 1-10 cm/s), e.g. 2500 L/h di aria nel caso di una low speed WT. Osservando i valori dei flussi coinvolti, è possibile rilevare come il fenomeno controllante non sia associato al flusso inviato nel sistema tramite ventilazione, bensì alla portata prodotta dal sistema di aerazione della vasca di ossidazione. Sulla base di tali assunzioni, è possibile osservare come il valore presente nello standard, scelto per convenzione, appare essere non completamente solido. Nello specifico, le vasche di ossidazione biologica possono avere range di portata specifica superficiale di aerazione di 4-50 m³/m²/h [7]. D'altra parte, risulta ricorrente che, in base al criterio stabilito dalla norma, la maggior parte di esse risulta inquadrabile formalmente come una sorgente areale passiva; il campionamento, quindi, andrebbe eseguito mediante cappa dinamica. Tuttavia, l'invio di un flusso supplementare, i.e. il flusso di aria necessario per esercire una WT, avente la funzione di simulare l'azione del vento sulla superficie della vasca, non sarebbe l'elemento controllante del sistema, in quanto potenzialmente minore del valore della portata del sistema di areazione. Nel presente lavoro, condotto su una vasca di ossidazione biologica, sono stati valutati, in termini di flusso di odore, i due principali contributi responsabili dell'emissività associata a questa tipologia di sorgente. Le prove di campo sono state eseguite valutando il flusso emissivo associato al campionamento condotto con una cappa WT utilizzata secondo metodologia standard, il quale considera simultaneamente entrambi i contributi. Il valore di SOER ottenuto è stato comparato con la somma dei flussi di odore specifici relativi a due prelievi eseguiti separatamente, uno per la valutazione del contributo emissivo associato al vento ed uno per l'analisi del fenomeno di strippaggio legato all'aerazione dal fondo [8].

2. Relazione

2.1 Valutazioni preliminari

Come discusso in precedenza, lo studio è stato incentrato sul prelievo di campioni gassosi provenienti da una vasca di ossidazione biologica localizzata all'interno di una linea di trattamento reflui. Come noto, una corretta gestione del processo aerobico richiede l'insufflazione di ossigeno al fine di mantenere il processo di ossidazione microbiologica che avviene all'interno della fase liquida. L'aerazione mediante soffianti è la soluzione predominante nelle applicazioni industriali, grazie alle tecnologie efficienti e affidabili attualmente disponibili. L'aria compressa, viene inviata a dei diffusori, ovvero gli elementi che immettono l'aria sottoforma di bolle all'interno delle acque reflue da trattare [9]a very important thing is appropriate aeration of activated sludge, because microorganisms have to be supplied with an appropriate amount of oxygen. Aeration is one of the most energy-consuming processes in the conventional activated sludge systems of wastewater treatment technology (may consume from 50% to

90% of electricity used by a plant; i diffusori solitamente vengono installati vicino al fondo del reattore biologico e i materiali più comunemente utilizzati per produrli sono ceramica porosa, tessuto o plastica. Mentre l'ossigeno presente nell'aria insufflata viene disciolto nel refluo da trattare, la formazione delle bolle favorisce lo strippaggio dei COV (Composti Organici Volatili) dalla fase liquida portando ad un arricchimento della fase gassosa che viene successivamente dispersa in atmosfera, generando un'emissione [10], [11].

Nel caso studio presentato, il sistema di aerazione utilizzato dalla vasca di ossidazione fornisce al processo aerobico una portata di aria, tale per cui è possibile ricavare la velocità di espulsione (o flusso specifico), pari a 0.0063 m/s (23 m³/m²/h). Dal confronto con il valore di minimo presente nel riferimento normativo, la sorgente areale risulta formalmente essere passiva.

2.2 Materiali e metodi

Al fine di prelevare i campioni gassosi dalla sorgente emissiva, sono stati adoperati due differenti sistemi a cappa, di seguito riportati:

- una WT esercita in modalità *low speed*. Per maggiori dettagli relativi alla cappa si rimanda alla descrizione riportata in [5];
- una cappa statica (CS) galleggiante avente un'area di base circolare di 1.8 m².

La campagna sperimentale di campo è stata condotta utilizzando due differenti approcci: il primo volto a valutare il fenomeno emissivo interamente, mentre il secondo è orientato ad analizzare distintamente i contributi emissivi legati all'emissione. In particolare:

– il campione n°1 è stato prelevato mediante WT, seguendo la metodica di campionamento convenzionale, la quale consta nell'adagiare la cappa dinamica sul pelo libero della sorgente areale da analizzare ed insufflare una portata nota di gas neutro (i.e. aria a 2500 L/h) proveniente da bombola. Una volta raggiunte le condizioni stazionarie del sistema, il campione gassoso in uscita dalla cappa viene prelevato utilizzando una pompa a depressione con meccanismo a polmone. In Fig. 1 si riporta una rappresentazione dei flussi coinvolti all'interno della WT;

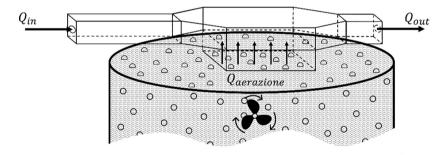


Fig. 1 – Schema semplificato dei flussi all'interno del sistema WT convenzionale

– il campione n°2 è stato prelevato per mezzo di una WT, seguendo in questo caso un approccio di prelievo differente. Nello specifico, la cappa dinamica è stata posta sopra ad un contenitore di polipropilene per uso alimentare, all'interno della quale è stata versata un'aliquota di liquido della vasca di ossidazione oggetto di studio. La portata di aria inviata alla WT è la medesima esercita per il prelievo del campione n°1, pari a 2500 L/h. Anche in questo caso, il campione gassoso in uscita dal sistema è stato prelevato con l'ausilio di una pompa a depressione con meccanismo a polmone. In Fig. 2 si riporta una rappresentazione schematica del sistema WT utilizzato.

L'obiettivo di tale prelievo è la valutazione del potenziale odorigeno legato alla sola azione del vento che agisce sul pelo libero della superficie della vasca analizzata;

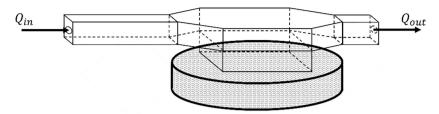


Fig. 2 - Schema semplificato dei flussi all'interno del sistema WT per l'analisi dell'effetto del vento

– il campione n°3 è stato prelevato impiegando una CS galleggiante, munita del relativo convergente, posta sulla superficie bollente della vasca. Il flusso aeriforme in uscita dalla vasca, dovuto all'aerazione dal fondo, è stato convogliato e prelevato per mezzo del medesimo sistema di campionamento a depressione utilizzato per i campioni n°1 e n°2. In Fig. 3 si riporta una rappresentazione dei flussi coinvolti all'interno del sistema CS utilizzata.

Lo scopo del prelievo è la valutazione del potenziale odorigeno legato al solo fenomeno di strippaggio dovuto all'aerazione proveniente dal fondo della vasca per mezzo di soffianti.

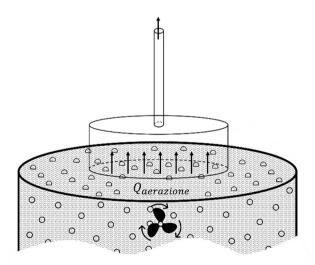


Fig. 3 - Schema semplificato dei flussi all'interno della CS galleggiante

La concentrazione di odore di ciascuno dei campioni gassosi prelevati è stata successivamente misurata tramite olfattometria dinamica seguendo il *yes/no method*, descritto all'interno della EN 13725:2022 [3].

2.2 Risultati

In Tab. 1 viene riportata la misura di concentrazione di odore relativa al campione n°1 prelevato mediante il sistema WT convenzionale descritto in precedenza.

N° campione C _{od}		Modalità di prelievo		
[ou _E /m³]				
1	845	WT standard		

Tab. 1 – Concentrazione di odore del campione n°1

Sulla scorta del dato ottenuto è stato calcolato il SOER, necessario per il calcolo dell'*Odour Emission Rate* (OER), associato al prelievo con metodica standard, espresso in ou_E/m²/s [2]. Dal bilancio dei flussi coinvolti nel volume di controllo e considerando che la concentrazione di odore in ingresso al sistema sia trascurabile rispetto a quella in uscita, risulta possibile calcolare il SOER secondo la seguente equazione:

$$SOER = \frac{C_{od} \cdot Q_{out}}{A_{WT}} = \frac{C_{od} \cdot \left(Q_{in} + \frac{Q_{areazione}}{A_{vasca}} \cdot A_{WT}\right)}{A_{WT}}$$

dove C_{od} [ou_E/m³] è la concentrazione di odore misurata; Q_{out} [m³/h] è il flusso in uscita dalla cappa dinamica, pari alla somma della portata di aria insufflata tramite bombola e del flusso convettivo passante dalla sezione della WT (0.125 m²) immersa sulla vasca di ossidazione; $Q_{aerazione}$ è la portata insufflata dalle soffianti nella vasca di ossidazione; A_{wT} è l'area della vasca di ossidazione esposta all'atmosfera. Il valore di SOER risultante è pari a 10.075 ou_r/m²/s.

In Tab. 2 vengono invece mostrati i dati di concentrazione di odore del campione n°2 e del campione n°3, misurati per la valutazione dei singoli contributi che influenzano il fenomeno emissivo relativo ad una vasca di ossidazione biologica.

N° campione	Cod	Modalità di prelievo	
[ou _E /m³]			
2	69	WT liquido	
3	1524	CS galleggiante	

Tab. 2 – Concentrazioni di odore dei campioni n°2 e n°3

Analogamente a quanto fatto per il campione n°1, sono stati successivamente calcolati i SOER associati alle due metodologie di prelievo implementate.

Per quanto riguarda il campione n°2, prelevato tramite un sistema a cappa WT operata in modo alternativo, la valutazione del relativo SOER, riportata nell'equazione sottostante, considera esclusivamente il flusso legato alla portata di aria inviata tramite bombola ed ipotizza una $C_{\rm ed}$ in ingresso al sistema trascurabile rispetto a quella in uscita.

$$SOER = \frac{C_{od} \cdot Q_{out}}{A_{WT}} = \frac{C_{od} \cdot Q_{in}}{A_{WT}}$$

Il valore di SOER che caratterizza il contributo emissivo dell'effetto del vento sul pelo libero della vasca risulta esser pari a $0.383~{\rm ou_E/m^2/s}$.

Per quanto concerne il campione n°3, prelevato tramite l'ausilio di una CS galleggiante, il flusso specifico emesso, risultante dal bilancio dei flussi coinvolti, è di seguito riportato:

$$SOER = \frac{C_{od} \cdot Q_{areazione}}{A_{nasca}}$$

Il valore di SOER che caratterizza il contributo emissivo del flusso convettivo prodotto dalla sorgente ribollente risulta esser pari a 9.704 ou_r/m²/s.

Dai risultati esposti in Tab. 3 è possibile osservare come il valore di SOER relativo al campionamento standard con WT risulti del tutto sovrapponibile alla somma dei due SOER distinti, valutati mediante il diverso approccio presentato. Inoltre, il SOER associato al fenomeno di strippaggio, dovuto all'aerazione della sorgente, rappresenta circa il 96% del flusso specifico di odore totale

N° campione	SOER	Approccio utilizzato	
[ou _E /m²/s]			
1	10.075	WT standard	
2 + 3	10.088	WT liquido + CS galleggiante	

Tab. 3 – Flussi di specifici di odore dei 2 approcci implementati

3. Conclusioni

La scelta della tecnica di campionamento più adatta alla caratterizzazione di sorgenti areali attive e passive è una tematica di interesse nel campo delle emissioni odorigene. Lo standard di riferimento pone come parametro distintivo la velocità di espulsione: una sorgente avente un valore inferiore a 0.008 m/s viene catalogata come sorgente areale di tipo passivo. Un caso particolare è rappresentato dalle vasche di ossidazione, soggette ad aerazione per il mantenimento dei microrganismi necessari al trattamento del refluo. I flussi convettivi immessi le portano ad essere solitamente classificate come sorgenti aerali passive, prescrivendo quindi l'esecuzione di un campionamento mediante l'ausilio di una cappa dinamica (e.g. WT o *flux chamber*). Ciononostante, l'insufflazione di una portata nota di aria (e.g. pari a 2500 L/h nel caso si utilizzi una WT) non comporta una corretta caratterizzazione della sorgente, in quanto il flusso inviato non rappresenta l'effettiva *driving force* del fenomeno emissivo.

Lo studio di campo discusso è finalizzato alla determinazione, in termini di SOER, dei singoli fenomeni emissivi che caratterizzano una vasca di ossidazione biologica: l'effetto del vento sul pelo libero della sorgente ed il flusso convettivo prodotto dal sistema di aerazione.

A tale scopo, dalla sorgente oggetto di studio sono stati prelevati 3 campioni gassosi mediante l'utilizzo di due approcci di campionamento diversi: sistema a cappa WT utilizzata in modo convenzionale ed un sistema a cappa WT adagiata su un quantitativo di liquido abbinato ad una CS galleggiante poggiata sul pelo libero della vasca di ossidazione. Misurata la concentrazione di odore di ciascun campione, attraverso analisi olfattometrica, è stato possibile determinare i flussi specifici di odore associati.

Dai risultati ottenuti da questo studio, si può osservare come il secondo approccio utilizzato sia sovrapponibile con la metodica standard che considera, oltre ai 2.5 m³/h flussati artificialmente, anche il flusso relativo al sistema di aerazione della vasca. Inoltre, il valore di SOER relativo al prelievo eseguito con CS (campione n°3), utilizzato per sorgenti areali attive e che nel presente caso caratterizza lo stripping dovuto alle bolle prodotte dalle soffianti, rappresenta circa il 96% del SOER totale. Nel caso specifico quindi, il flusso convettivo generato dalle

soffianti è risultato il principale contributo responsabile del fenomeno emissivo della sorgente, mentre l'effetto del vento sul pelo libero ha evidenziato un'influenza pressoché marginale (restante 4% dell'OER); l'utilizzo di un flusso suppletivo di aria potrebbe condurre ad una diluizione della concentrazione emissiva da misurare, piuttosto che rappresentare l'effetto della velocità del vento sul pelo libero della vasca.

Il parametro indicato dalla normativa come discriminante per sorgenti aerali attive e passive, i.e. la velocità minima di espulsione, risulta essere quindi non completamente esaustivo per la scelta dell'adatta tecnica di campionamento da utilizzare in campo. Sulla base delle informazioni raccolte, nel caso di campionamento di vasche di ossidazione biologica, il prelievo tramite CS risulta essere degno di considerazione.

Un possibile approfondimento futuro del lavoro presentato potrebbe essere quindi indirizzato alla valutazione del contributo emissivo associato al fenomeno di evaporazione dell'aerosol prodotto dall'attività di eventuali aeratori presenti sulla superficie della vasca.

Bibliografia

- [1] Bockreis A., Steinberg I., "Measurement of odour with focus on sampling techniques," Waste Manag., vol. 25, no. 9, pp. 859-863, 2005, doi: 10.1016/j.wasman.2005.07.013
- [2] Capelli L., Sironi S., Del Rosso R., "Odor sampling: Techniques and strategies for the estimation of odor emission rates from different source types," *Sensors (Switzerland)*, vol. 13, no. 1, pp. 938-955, 2013, doi: 10.3390/s130100938
- [3] **CEN**, EN13725:2022 Stationary source emissions Determination of odour concentration by dynamic olfactometry and odour emission rate, 2022.
- [4] **VDI**, VDI 3880. Olfactometry Static sampling, vol. 31, no. 0. pp. 0-25, 2011
- [5] Capelli L., Sironi S., Del Rosso R., Centola P., "Predicting odour emissions from wastewater treatment plants by means of odour emission factors," *Water Res.*, vol. 43, no. 7, pp. 1977-1985, 2009, doi: 10.1016/j.watres.2009.01.022
- [6] Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, Allegato A.2 del decreto direttoriale n.309 del 28/06/2023 "Indirizzi per l'applicazione dell'articolo 272-bis del D.Lgs 152/2006 in materia di emissioni odorigene di impianti e attività.", 2023
- [7] **Gillot S., Héduit A.,** "Prediction of alpha factor values for fine pore aeration systems," *Water Sci. Technol.*, vol. 57, no. 8, pp. 1265-1269, 2008, doi: 10.2166/wst.2008.222
- [8] Invernizzi M., Teramo E., Busini V., Sironi S., "A model for the evaluation of organic compounds emission from aerated liquid surfaces," *Chemosphere*, vol. 240, p. 124923, 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.124923
- [9] **Drewnowski J., Remiszewska-Skwarek A., Duda S., Łagód G.,** "Aeration process in bioreactors as the main energy consumer in a wastewater treatment plant. Review of solutions and methods of process optimization," *Processes*, vol. 7, no. 5, 2019, doi: 10.3390/pr7050311
- [10] **Gostelow P., Parsons S. A., Stuetz R. M.,** "Odour measurements for sewage treatment works," *Water Res.*, vol. 35, no. 3, pp. 579-597, 2001, doi: 10.1016/S0043-1354(00)00313-4.
- [11] Carrera-Chapela F., Donoso-Bravo A., Souto J. A., Ruiz-Filippi G., "Modeling the odor generation in WWTP: An integrated approach review," *Water. Air. Soil Pollut.*, vol. 225, no. 6, 2014, doi: 10.1007/s11270-014-1932-y

RESOURCE EFFICIENCY AND CIRCULAR ECONOMY

TECHNOLOGICAL ADVANCEMENTS IN WASTE TREATMENT AND RESOURCES RECOVERY

Despite good performances of some European Countries, other territories show a significant lag in implementing the European targets of circular economy, still sending into landfills even more than 60% of the waste they generate. Besides an improved effort in national policies and management initiatives, a fundamental seems to come from technological advancements, which could increase the worth of disposed discards, retrieve secondary products and attain a better energy balance. These results would lead Europe to lower the recourse to landfill and provide valuable raw materials reducing the dependence from other Countries and reducing the circularity gap. The papers presented under this session are reporting strategies for addressing some specific and relevant issues according to EU directives.

A cura di: Ecomondo Scientific Technical Committee & Italian Chemical Society – Division Environmental and Cultural Heritag e Chemistry, AT IA (Association of Italian Environmental Technicians) – ISWA (International Solid Waste Association)

Presidenti di sessione:

Fabrizio Passarini, University of Bologna Andrea Eleuteri, ATIA (Association of Italian Environmental Technicians) – ISWA (International Solid Waste Association)

Piattaforma per la Digitalizzazione dei servizi eco-ambientali

<u>Francesca Cipollini, francesca cipollini@aizoon.it,</u> Marco Sigala, Shaji Vattakunnel, Paolo Falco, Raffaele Damiano, Menakha Maheswaran, Camilla Bianchi, Marcella Toma, Marco Raimondi, Luca Bolognini, aizoOn, Oliviero Vigna Suria – SEA, Torino

Riassunto

In questo progetto è stata realizzata una piattaforma per il monitoraggio, la pianificazione e l'ottimizzazione dei servizi di raccolta rifiuti. Tramite un'estesa campagna di raccolta dati iniziale facilitata dall'interfaccia utente realizzata è stato possibile collezionare informazioni sulle performance dei veicoli di raccolta rifiuti nel tempo, informazioni che sono state sfruttate per elaborare un algoritmo di ottimizzazione dei percorsi che consentirà la riduzione del consumo carburante dei mezzi e la minimizzazione dell'impatto ambientale.

Summary

In this project, a platform for monitoring, planning and optimizing waste collection services was developed. Through an extensive initial data collection campaign adopting the user interface developed, it was possible to obtain information on the performance of the waste collection vehicles over time; these data were exploited to develop a route optimization algorithm that would allow to reduce fuel consumption and minimize the environmental impact of waste collection vehicles.

1. Introduzione

Nel corso degli ultimi anni, il settore eco-ambientale ha registrato una sempre più forte necessità di ammodernamento con la finalità di garantire servizi di raccolta più frequenti ed efficienti [1]. Le aziende operanti nel settore si stanno scontrando con la necessità di ridurre i costi legati all'esercizio dei mezzi cercando di minimizzarne l'impatto ambientale, ma in un contesto ancora fortemente dominato dall'utilizzo di materiale cartaceo per l'acquisizione e la storicizzazione dei dati, avere una misura esatta dei costi di ogni servizio di raccolta risulta complesso. La digitalizzazione del processo di acquisizione dei dati dei singoli servizi di raccolta è perciò uno step fondamentale per poter efficacemente pianificare, monitorare ed ottimizzare tali servizi. Infatti, avendo un accesso diretto allo storico dei dati dei servizi realizzati nel tempo, è possibile ricavare delle metriche di performance per ogni servizio, pianificare strategie di ottimizzazione delle stesse e verificarne la realizzazione [2].

In questo contesto, è stato sviluppato il prototipo di una piattaforma integrata per l'acquisizione di dati da sorgenti disomogenee per monitorare, analizzare ed efficientare i processi aziendali di una società che opera nel settore eco-ambientale. Tra le sorgenti dato considerate citiamo i dati delle posizioni dei veicoli dedicati alla raccolta, i costi di consumo carburante sostenuti, le informazioni sulle presenze/assenze degli operatori. Consentendo l'accesso a tali informazioni tramite la piattaforma sviluppata, è stato reso possibile pianificare i servizi e assegnarli ad un operatore, responsabile di registrare tutti i dati del servizio in atto quali il carico raccolto, gli orari effettivi di inizio e fine servizio e le soste di scarico realizzate.

I dati ottenuti sono stati analizzati attraverso tre algoritmi di ottimizzazione pseudo-euristica per identificare per ogni servizio il suo percorso di raccolta ottimale, in grado di minimizzare la distanza percorsa da un mezzo selezionato, tenendo conto della sua portata e di eventuali soste necessarie per effettuare scarichi intermedi in un secondo mezzo raccoglitore. I risultati del processo di ottimizzazione hanno mostrato come dei tre algoritmi considerati, l'algoritmo Ant Colony consenta un maggior risparmio in termini di chilometri percorsi dai mezzi di raccolta [3]. Sia i percorsi risultanti dal processo di ottimizzazione che lo storico delle metriche ricavate per ogni servizio sono stati resi disponibili attraverso la piattaforma sviluppata per consentire una gestione più efficiente del cantiere.

2. Relazione

2.1 Acquisizione Dati

Il presente progetto è stato realizzato nell'ambito del cantiere di raccolta rifiuti del comune di Borgo San Lorenzo caratterizzato da un numero di veicoli e di personale addetto sufficientemente ridotto da poter consentire un primo sviluppo prototipale della piattaforma richiesta. Per questo cantiere sono state registrate le informazioni relative alle posizioni dei singoli cassonetti di raccolta e gli orari del loro svuotamento, informazioni estremamente rilevanti per la realizzazione dell'algoritmo di ottimizzazione dei percorsi di raccolta. Inoltre, è stata realizzata un'accurata documentazione dello stato dei servizi realizzati, informazione necessaria per la verifica dei dati inseriti dagli utenti sulla piattaforma in merito per la rendicontazione dei consumi di carburante realizzati. Per quanto riguarda i dati relativi alle posizioni in tempo reale di tutti i veicoli del cantiere, questi sono stato estratti facendo uso di un processo di pulizia e di normalizzazione dal Data Lake Azure dell'azienda di servizi eco-ambientali coinvolta nel progetto. Per facilitare l'inserimento dati è stato necessario semplificare il più possibile l'adozione della piattaforma per tutte le tipologie di utenti del cantiere (Operatori, Capi Cantiere e Manutentori) i quali avevano poca dimestichezza con un framework digitale per la rilevazione delle informazioni di servizio. Il design dell'interfaccia utente è stato mantenuto il più semplice possibile secondo il sistema "Material" di Google (https://m3.material.io/). Questa scelta ha consentito di minimizzare le necessità di formazione e di supporto sfruttando la familiarità degli utenti con altri prodotti "monile" di ampia diffusione che usano lo stesso sistema (es. Whatsapp, Gmail). La scelta di utilizzare Material Design ha anche consentito l'adattabilità ai diversi strumenti di visualizzazione previsti in cantiere (tablet/desktop/smartphone).

Data la necessità di inserire a sistema i dati di pianificazione del servizio, le informazioni potenzialmente trasmissibili dagli operatori coinvolti nel servizio e i risultati del processo di ottimizzazione, l'architettura tecnologica della piattaforma ha visto la realizzazione di tre unità logiche:

- Analitiche, realizzate tramite Azure Functions, che insistono direttamente sui dati del Data Lake contenente i dati telemetrici provenienti dai veicoli in tempo reale;
- Database SQL Server per la raccolta delle elaborazioni delle analitiche e degli inserimenti degli utenti;
- Web-app basata su microservizi Docker per l'inserimento di informazioni dagli operatori e la visualizzazione dei dati presenti sul Database.

Tali componenti, mostrati in Fig. 1, sono state realizzate facendo uso di strumenti Microsoft Azure on Cloud, e la web-app è stata resa accessibile agli utenti previo login.



Fig. 1 - Architettura Software per l'acquisizione dati

L'architettura descritta è stata utilizzata per 3 mesi durante i quali è stato possibile collezionare dati sufficienti per l'elaborazione dell'algoritmo di ottimizzazione dei percorsi, con il fine di ridurre i consumi di carburante e ottimizzare i costi di servizio, minimizzandone l'impatto ambientale. Tra le informazioni immagazzinate riportiamo le posizioni dei veicoli del tempo, i relativi consumi e acquisti di carburante, la quantità di rifiuti raccolti per servizio e le soste per scarico realizzate a causa del raggiungimento della massima capienza del veicolo. Inoltre, la web-app è stata utilizzata per assegnare i diversi servizi agli operatori e tenere traccia sulle loro presenze/assenze e di definire gli orari di inizio e fine servizio.

2.2 Algoritmi di ottimizzazione percorsi

Per poter ricavare il percorso ottimale di raccolta rifiuti, siamo partiti dall'ipotesi che fosse necessario passare attraverso ognuna delle fermate afferenti al servizio non più di una volta. Questo problema è riconducibile ad uno dei problemi più noti in letteratura di ottimizzazione più noti, ovvero il Travelling Salesman Problem (TSP) o, nel caso multi-veicolo, del Vehicle Routing Problem (VRP), i quali sono entrambi problemi NP-complessi, non risolvibili in maniera esatta a tempo polinomiale [4]. In questo contesto, algoritmi di ottimizzazione come quelli a soluzione esatta o di dynamic programming non possono essere utilizzati in quanto porterebbero ad una soluzione ottima in tempi contenuti solo su un numero molto limitato di fermate [4].

Data la necessità di trovare percorsi ottimali per un gran numero di servizi in tempi contenuti, è stato quindi necessario identificare un algoritmo pseudo-euristico, il quale non garantisce di ottenere la soluzione esatta, ma una soluzione sub-ottima del problema. Questo perchè una procedura euristica non necessita di una specifica dimostrazione matematica di convergenza e non esplora tutte le possibili soluzioni nello spazio di ricerca prima di arrivare alla soluzione finale, quindi è computazionalmente efficiente. Un metodo pseudo-euristico di ottimizzazione sfrutta invece regole empiriche che non dipendono necessariamente dal dominio considerato per il raggiungimento di un punto di minimo (o massimo) di una funzione di costo definita, ma tipicamente prendono ispirazione dalla natura [5]. In letteratura si possono identificare tre principali famiglie di metodi adottate per risolvere il TSP e VRP:

- Metodi evolutivi: ispirati alla teoria dell'evoluzione e della selezione naturale, ad esempio Genetic Algorithm (GA);
- Metodi fisici: sfruttano cognizioni sul funzionamento di sistemi fisici e sociali, ad esempio Simulated Annealing (SA);
- Metodi sciame: utilizzano l'intelligenza collettiva di agenti omogenei in natura, ad esempio il sistema delle colonie di formiche, Ant Colony (AC).

Sono stati realizzati quindi esperimenti sui dati dei percorsi a disposizione e sono state misurate sia le performance temporali che di distanze percorse minime raggiunte, facendo uso dei tre algoritmi GA, SA e AC.

Il Genetic Algorithm (GA) è stato proposto da John Holland [6] e dai suoi colleghi nei primi anni '70 ed è ispirato alla teoria dell'evoluzione di Darwin. GA utilizza operatori genetici

come selezione, crossover e mutazione per l'esplorazione di soluzioni a problemi complessi, esplorando una popolazione come un insieme di possibili soluzioni chiamate individui. Un individuo è descritto da un insieme di parametri, chiamati geni, i quali sono uniti in una sequenza chiamata cromosoma; nel nostro caso i geni sono le singole fermate di raccolta mentre il cromosoma non è che una sequenza di esse. Ogni cromosoma, ha una misura corrispondente, chiamata fitness, che esprime quanto quella soluzione minimizzi la funzione di costo definita. Nel caso del problema TSP, si tratta della distanza che il mezzo dovrà percorrere per realizzare tutte le fermate del servizio. La popolazione iniziale viene prelevata in modo casuale, generando molti tour campione per veicolo. Dopo aver creato la popolazione iniziale, inizia il processo evolutivo secondo uno schema iterativo:

- All'inizio, l'algoritmo seleziona due individui con la migliore fitness: questi sono selezionati come i genitori dai quali avrà origine un figlio. Come in ambito genetico, i genitori sono individui che trasmettono una parte dei propri geni – per questo problema, l'ordine delle fermate – ad un figlio.
- Dopo la selezione dei genitori, inizia l'operazione di crossover, mediante la quale sono estratte sequenze di geni dai due genitori per produrre nuovi individui per la popolazione successiva.
- Dopo il crossover, la sequenza figlio è soggetta a mutazione per impedire che l'algoritmo si blocchi in un minimo locale.
- Infine, le popolazioni vecchie (genitori) e nuove (figli) vengono unite ma la dimensione della popolazione viene mantenuta costante, selezionando solo gli individui con la fitness più alta. Tale procedimento è ripetuto fino al raggiungersi di un numero massimo di iterazioni o di una convergenza della soluzione trovata (percorso a distanza minima).

L'algoritmo di Simulated Annealing (SA) fu introdotto per la prima volta da Metropolis nel 1953 [7] e ad oggi è uno dei metodi più efficienti per i problemi di ottimizzazione combinatoria

La tecnica è stata sviluppata basandosi sugli studi sul processo di ricottura, in cui un metallo viene riscaldato ad alta temperatura e raffreddato lentamente per migliorarne le proprietà fisiche.

Il processo di ottimizzazione inizia selezionando una soluzione casuale (una sequenza di fermate) e definendo una temperatura del sistema iniziale. Ad ogni iterazione, viene rilevata una soluzione a costo minimo (minor distanza percorsa) nelle vicinanze della soluzione corrente e viene eseguito un confronto tra la nuova soluzione e la soluzione attuale. Se la nuova soluzione è migliore, questa sostituirà la soluzione attuale; mentre, se è peggiore, sostituirà la soluzione

attuale secondo una probabilità ottenuta dalla funzione di Boltzmann $\exp\left(-\frac{\Delta}{k \cdot T}\right)$, dove è

la differenza nella funzione di fitness tra la soluzione corrente e la nuova soluzione, è la costante di Boltzmann e è la temperatura corrente. Questo meccanismo impedisce all'algoritmo di essere intrappolato in un minimo locale. La ricerca dei dintorni va avanti fino a quando il numero di iterazioni raggiunge un valore prefissato, e una volta completato questo passaggio, la temperatura del sistema viene abbassata. Per esprimere il SA come un problema di raccolta dei rifiuti, il processo di ricerca varia l'ordine delle fermate di raccolta dei cassonetti effettuata da un automezzo.

Infine, l'algoritmo Ant Colony (AC) è basato sul comportamento delle formiche per la ricerca di un percorso minimo da un punto di partenza (nido) ad un punto finale (cibo) [3], facendo ricorso ad un processo di visita di un grafo con probabilità, come mostrato in Fig. 2.

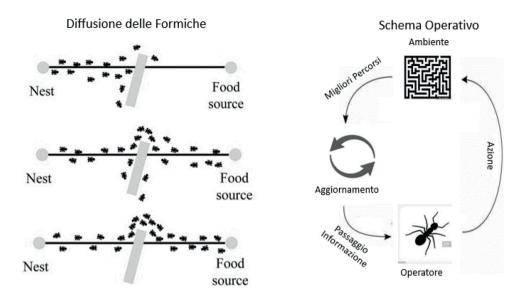


Fig. 2 - Descrizione funzionale dell'algoritmo Ant Colony

Ouesto metodo è quello che ha la più forte aderenza con il problema preso in esame in quanto richiede che le formiche trovino il percorso più breve tra punto di partenza e quello finale che attraversi tutti i nodi del grafo (le fermate di raccolta) facendo uso di alcune informazioni di storico, ovvero i ferormoni lasciati da altre formiche che hanno attraversato il grafo in precedenza secondo uno schema iterativo. I ferormoni sono una misura di quanto sia più efficiente a posteriori scegliere di percorre un arco che collega due nodi (es. A e B) rispetto a tutti gli altri archi che partono dallo stesso vertice A e che arrivano su nodi differenti da B. Ogni formica, quindi, percorre il grafo scegliendo quale nodo (o fermata) visitare ad ogni step con una probabilità derivante dalla moltiplicazione del reciproco della distanza tra il nodo in cui si trova al momento e di tutti gli altri nodi vicini per i relativi ferormoni. Alla prima iterazione dell'algoritmo, i ferormoni sono inizializzati a uno, per cui le formiche hanno probabilità dipendente solo dal reciproco della distanza tra i nodi di scegliere di andare verso l'uno rispetto ad un altro. Una volta che la prima iterazione dell'algoritmo è terminata, i ferormoni sono aggiornati a seconda delle soluzioni migliori ricavate dalle formiche. Durante la singola iterazione le formiche possono aver trovato un percorso a costo minimo rispetto a tutte le soluzioni mai identificate (detta soluzione globale) oppure no, identificando solo dei percorsi a costo minore (dette soluzioni locali). L'aggiornamento delle probabilità avviene riducendo i ferormoni degli archi non presenti in quattro soluzioni ottimali, ovvero l'insieme composto dal percorso minimo globale e dai primi tre percorsi minimi locali identificati in quella iterazione. Dopo il raggiungimento del massimo numero di iterazioni fissato, le formiche restituiranno il percorso migliore trovato (ovvero la soluzione globale).

I tre algoritmi sopradescritti sono stati testati facendo uso delle seguenti informazioni:

- I codici identificativi dei cassonetti da raccogliere, del punto di partenza, arrivo e di scarico di un determinato tipo di servizio,
- La matrice delle distanze fra tutte le fermate del servizio considerato,
- La capacità del mezzo di trasporto utilizzato durante il servizio,
- La quantità media del peso raccolto per la tipologia di servizio ricavata dallo storico.

Da notare come la matrice delle distanze sia stata calcolata facendo uso del sistema open-source Valhalla basato sulle mappe open-street map [8]. Una volta ottenute queste informazioni,

è stato possibile testare i diversi algoritmi per ottenere la sequenza ordinata delle fermate ottimali.

2.3 Risultati

Sono stati utilizzati solo i servizi a cadenza periodica (tipicamente settimanale), utilizzando quindi i dati di 53 servizi del comune di Borgo San Lorenzo con una media di 138 cassonetti a servizio. Per ognuno di questi servizi, il risultato dei diversi algoritmi si presenta come una lista di liste di fermate, separate tra loro da uno scarico necessario a causa del raggiungimento della soglia stimata di capacità del mezzo. Ogni algoritmo ha richiesto di fissare alcuni parametri che riportiamo di seguito:

- -GA
- o Il numero individui che formano la popolazione uguale a 100
- o Numero di iterazioni dell'algoritmo (i processi evolutivi della popolazione) imposto a a 100 SA
- La temperatura iniziale a 1000000
- La temperatura finale a 0.1
- o Il parametro di dispersione del calore a 0.9
- o Il numero di iterazioni a pari temperatura fissato a 500
- AC
- o Il numero di formiche fissato a 12
- o Il numero di iterazioni (le spedizioni delle formiche) settato a 20

I risultati ottenuti sono illustrati in Tab. 1 e sono riportati con il corrispettivo intervallo di confidenza al 95%, da cui si può notare come AC risulti l'algoritmo più efficiente in quanto presenta sia minori tempistiche di esecuzione che maggiore risparmio medio percentuale. Fig. 3 mostra le distribuzioni di probabilità del risparmio medio di distanza percorsa in termini percentuali, da cui si può notare come il picco per l'algoritmo AC sia leggermente spostato verso destra rispetto a SA e GA.

KPI	GA	SA	AC
Tempo Medio [s]	158 ±1.96 * 73	289 ±1.96*158	55 ±1.96 * 52
Distanza Media [km]	56.8 ±1.96 * 34.3	56.8±1.96 * 34.1	55.0 ±1.96 * 33.4
Risparmio Medio percentuale [%]	21.7±1.96*15.6	21.6±1.96*15.8	24.3±1.96*15.8

Tab. 1 – Risultati in termini di risparmio medio percentuale della distanza percorsa, distanza media raggiunta e tempi medi ottenuti, per algoritmi GA, SA e AC.

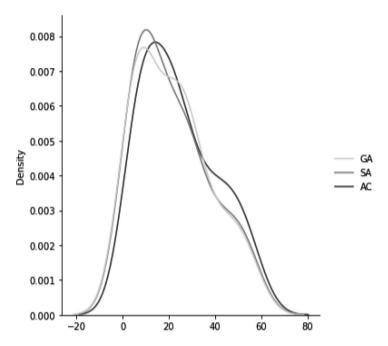


Fig. 3 - Grafico della distribuzione del risparmio percentuale degli algoritmi GA, SA e AC.

3. Conclusioni

Abbiamo riportato i risultati ottenuti dal processo di ottimizzazione per alcuni percorsi di raccolta rifiuti del comune di Borgo San Lorenzo, facendo uso di algoritmi pseudo-euristici allo stato dell'arte per la risoluzione del problema del commesso viaggiatore. Tali risultati sono estremamente incoraggianti e dimostrano come l'ottimizzazione delle operazioni di raccolta sia possibile e che la riduzione dell'impatto ambientale possa guidare la pianificazione futura dei servizi e aumentare la loro redditività.

Non sarebbe stato possibile raggiungere tali risultati senza un'accurata fase di acquisizione dati e allo sviluppo di una piattaforma dedicata per la raccolta dei dati di servizio da campo, il cui utilizzo fosse semplice e intuitivo da parte degli utenti (operatori e capi cantiere). Gli studi svolti sono da considerarsi perciò una prova di come la digitalizzazione nel settore eco-ambientale possa portare a notevoli benefici sia da un punto di vista economico, in termini di risparmi di costo carburante, sia da un punto di vista di efficientamento della rendicontazione del servizio e del suo monitoraggio.

Bibliografia

- [1] **Borchard, R., Zeiss, R., & Recker, J.**, "Digitalization of waste management: Insights from German private and public waste management firms" Waste Management & Research, 40(6), 775-792 (2022);
- [2] Kurniawan, T. A., Meidiana, C., Othman, M. H. D., Goh, H. H., & Chew, K. W., "Strengthening waste recycling industry in Malang (Indonesia): Lessons from waste management in the era of Industry 4.0" Journal of Cleaner Production, 382, 135296 (2023);
- [3] **Dorigo, M., & Di Caro, G.** "Ant colony optimization: a new meta-heuristic" In Proceedings of the 1999 congress on evolutionary computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406) (Vol. 2, pp. 1470-1477). IEEE (1999, July);
- [4] **Gendreau, M., Laporte, G., & Vigo, D.** "Heuristics for the traveling salesman problem with pickup and delivery" Computers & Operations Research, 26(7), 699-714 (1999);

- [5] **Houssein, E. H., Younan, M., & Hassanien, A. E.** "Nature-inspired algorithms: A comprehensive review" Hybrid Computational Intelligence, 1-25 (2019);
- [6] **Holland, J. H.** "Genetic algorithms and the optimal allocation of trials" SIAM journal on computing, 2(2), 88-105 (1973);
- [7] Metropolis, N., Rosenbluth, A. W. R. M. N., Rosenbluth, M., Teller, A., & Teller, E. "Simulated annealing" Journal of Chemical Physics, 21(161-162), 1087-1092 (1953);
- [8] **OpenStreetMap Wiki contributors**, "Researcher Information," OpenStreetMap Wiki, https://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=Researcher_Information&oldid=1446820.

Safety considerations in waste treatment for the biogas production

<u>Romualdo Marrazzo romualdo.marrazzo@isprambiente.it</u> – ISPRA Roma Cosetta Mazzini – ARPAE, Bologna – MASE, Roma

Summary

The possibility of producing energy from waste treatment has led to an expansion in industrial establishments, in terms of increasing the capacity of existing plants for the production of biogas or the construction of new ones. These establishments may be subject to the Seveso III Directive, aimed at the prevention of major accidents. The gas mixture contained within the bio-digesters must be classified according to the CLP regulation, considering the hazard characteristics of the components of the mixture, not of the methane component only and considering the total quantity of biogas present in the plant, including the hold up of equipment used to transfer the biogas. Only upgraded biogas can be classified with less restrictive thresholds range, as it is treated in compliance with the standards applicable to purified and upgraded biogas which ensure a quality equivalent to that of the natural. It is finally possible to indicate some elements for the possible identification of dangers and the evaluation of risk in these plants.

Riassunto

La possibilità di produrre energia dal trattamento dei rifiuti ha determinato un ampliamento negli stabilimenti industriali, in termini di aumento della capacità degli impianti esistenti per la produzione di biogas o la realizzazione di nuovi. Tali stabilimenti possono essere soggetti alla Direttiva Seveso III per la prevenzione degli incidenti rilevanti. La miscela di gas contenuta nei biodigestori va classificata secondo il regolamento CLP, considerando le caratteristiche di pericolosità dei componenti della miscela, non della sola componente metanica e considerando la quantità totale di biogas presente nell'impianto, compreso l'"hold-up" di apparecchiature utilizzate per il trasferimento del biogas. Solo il biogas "potenziato" può essere classificato con range di soglie meno restrittive, in quanto trattato nel rispetto degli standard applicabili al biogas purificato e raffinato che assicurano una qualità equivalente a quella del naturale. È infine possibile indicare alcuni elementi per la possibile identificazione dei pericoli e la valutazione del rischio in questi impianti.

1. Introduction

In recent years, the production of energy from renewable sources has experienced a marked increase, also thanks to incentive policies specifically aimed at strengthening national production, in order to achieve the objectives set by the EU in terms of climate change and the reduction of emissions. Furthermore, the implementation of the Recovery and Resilience National Plan is going to increase the capability of existing amount of establishments that produce biogas, the conversion to biogas of existing agricultural plants and to allow the construction of new ones. The number of this type of establishments will increase in the coming years in Italy. Although these establishments are standardised and are characterized by a relative low plant complexity, they may be subject to the Seveso III Directive 2012/18/EU, implemented in Italy by the D.Lgs. 105/2015 [1], aimed at the prevention of major accidents. The D.Lgs.

105/2015 covers establishments where dangerous substances may be present (e.g. during processing or storage) in quantities exceeding certain thresholds. Operators of the establishments are obliged to take all necessary measures to prevent major accidents and to limit their consequences for human health and the environment. Depending on the amount of dangerous substances present, establishments are categorised in lower and upper tier, with different obligations. The requirements include, among others: notification of all concerned establishments; deploying a Major Accident Prevention Policy (MAPP) through the implementation of a Safety Management System for Prevention of Major Accident (SMS-PMA); producing a Safety Report (SR) for upper-tier establishments; producing an Internal Emergency Plan (IEP) for upper tier establishments; providing information in case of accidents.

2. Report

2.1 The Italian Seveso sites

In Italy, based on the information in the inventory of establishment notifications, managed by ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) on behalf of the Ministry of Environment (MASE – Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica), there are 981 Seveso sites, subdivided into 508 upper tier and 473 lower tier establishments [2]. The following Figure 1 shows the main industrial sectors subject to the D.Lgs. 105/2015.

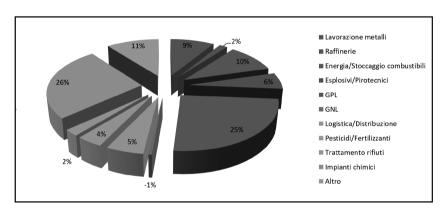


Fig. 1 – The Italian situation for the Seveso establishments

Establishments that produce biogas belong to the general sectors of "Energia/Stoccaggio combustibili" (Energy/Fuels Storage) and "Trattamento Rifuti" (Waste treatment), that represent an important portion of the Italian production reality (respectively 11% and 2%). This percentage includes 6 biogas production sites, currently notified as subject to the the D.Lgs. 105/2015, and in particular:

- 5 sites with the presence of biogas, falling into the main types of activities such as: Food and beverage industries (typically food distilleries), Production, supply and distribution of energy, Water resources and wastewater (collection, supply and treatment);
- 1 site with the presence of biomethane, falling into the type of activities of Production, supply and distribution of energy (production by anaerobic digestion).

2.2 The Biogas plants

Biogas plants are available in various types of layouts, capacities and versions. Despite the different types, the principle of installations remains the same. Biogas and biomethane are

both energy sources for heat and/or power production [3], for industrial and household applications as well as for the transport sector under bio-fuel forms (see Figure 2).

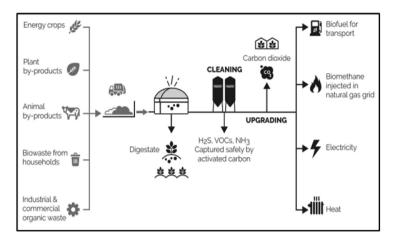


Fig. 2 - Plant scheme for biogas

A typical plant for biogas consists of: storage tanks; supply and discharge pipelines; any compression stations and gas decompression cabins; control, operation and safety equipment; ancillary systems [4]. In this regard, the following are considered dangerous elements of the installation: tanks (such as digesters); compression stations and decompression cabins; any other element presenting a risk of explosion or fire under normal operating conditions, including the transfer point, components and fixed piping [5].

Sometimes it is possible to find (temporary) biogas storage for which gas recirculations are used. The biogas produced usually feeds directly into a gas engine to generate electricity (and heat). It is also possible to make changes to the composition of the biogas, through an intermediate phase with natural gas, so that it can be fed directly into the natural gas network [6]. Typical bio-digesters consist of a tank (agricultural and zootechnical waste, animal manure, organic fraction of municipal waste,) covered by a special sheet to collect the biogas produced, as indicated in the Figure 3.



Fig. 3 – Typical bio-digesters for the biogas production

2.3 The thresholds range applied to the gas mixture

It is necessary to clarify how the gas mixture contained within the bio-digesters, retained by the covers of the digester tanks, any post-digesters and digestate storage tanks should be classified, for the application of the D.Lgs. 105/2015. For the implementation of the decree, the biogas is classified flammable gas, Category 1 with thresholds range of 10-50 tons, as reported in hazard category "P2 FLAMMABLE GASES" of Part 1 of Annex 1 of the D.Lgs. 105/2015. This thresholds range is more restrictive than thresholds range applied to upgraded biogas. In fact, the Note 19 of the Part 2 of Annex 1 reports that upgraded biogas may be classified under entry 18 of Part 2 of Annex I, with threshold range of 50-200 tons, where it has been processed in accordance with applicable standards for purified and upgraded biogas ensuring a quality equivalent to that of natural gas, including the content of Methane, and which has a maximum of 1 % Oxygen. Consequently, purified and upgraded biogas, also referred to as biomethane, is equivalent to natural gas if it meets these requirements.

In the following table 1, it is possible to schematize the different applicability thresholds of the D.Lgs. 105/2015, depending on whether it is biogas or upgrated biogas.

Annex 1	Column 1	CAS	Column 2	Column 3
	Dangerous substances		Qualifying quantity (t) for the application o	
			LT	UT
	•••			
Part 1	P2 FLAMMABLE GASES	_	10	50
	•••			
Part 2	18. Liquefied flammable gases, Category 1 or 2 (including LPG) and natural gas	-	50	200

Table 1 – Threshold limits for LPG and LNG

2.4 The classification of the biogas in the bio-digesters

The biogas upgrading and purification process takes place downstream of the digestion tanks and therefore the gas retained by the tank covers is not to be considered purified or upgraded. The gases present in the bio-digesters are in fact characterized by a methane content equal to an average of 60%, an inert gas content (carbon dioxide and nitrogen) equal to an average of approximately 39% and, for the remainder part – approximately 1%, by impurities whose nature depends on factors such as the origin of the materials entering the digester, operating conditions of the process, etc. which may have, in some limited cases, dangerous characteristics.

For the reasons stated above, the conditions required by Note 19 of Annex 1 of the D.Lgs.105/2015 are not met for the biogas before the upgrade. It is important to underline that, based on note 2 of Annex 1 of the D.Lgs. 105/2015, for which "Mixtures shall be treated in the same way as pure substances provided they remain within concentration limits set according to their properties under Regulation (EC) No 1272/2008...", for the purposes of classifying and quantifying bio-digestion gas, it is necessary to consider the quantity of gas in the state in which it is present in the bio-digesters and not just the methane component. Furthermore, according to article 11 point 1 of the aforementioned regulation [6] "Where

a substance contains another substance, itself classified as hazardous, whether in the form of an identified impurity, additive or individual constituent, this shall be taken into account for the purposes of classification, if the concentration of the identified impurity, additive or individual constituent is equal to, or greater than, the applicable cut-off value in accordance with paragraph 3".

Finally, it should be noted that the quantity to be considered is the maximum quantity present in the plant, consisting of the sum of the free volume of the plant biodigester/post digester designed to contain the biogas (net of the volume used to contain the biomass in the digestion phase or the digestate) and from the hold up of pipes/equipment used to contain and transfer the biogas.

2.5 Risk assessment for the bio-gas establishments: a possible approach

The adherence to the Seveso directive isn't just a legal necessity but become a cornerstone for the long-term success and safety of the bio-gas establishments [7]. This Regulation is in fact aimed at: Ensuring the safety of plant operators and the surrounding community; Minimising environmental impact and potential hazards; Ensuring this sector of industry is operated in a manner which is beneficial to local communities.

The basic elements for a possible approach regarding the identification of dangers and the evaluation of risk in the bio-gas establishments are indicated below, carried out in accordance with the D.Lgs. 105/2015 and taken in part from the experience of the Italian working group on the evaluation of the safety risk analysis of the underground natural gas storage [8]:

1. Information relating to establishment.

The principal elements to highlight are:

- Typology of activities
- Organizational structure and management systems.
- Establishment classification and verification subject to Seveso. It is important to calculate the quantities present of: storage and hold up; process plants; other substances.
- 2. Identification of events and accident scenarios.

For the identification of events and consequent accident scenarios, it is possible to refer to the typical techniques as historical experience, what-if analysis, FMEA-FMECA, HazOp. The analysis develops as below:

- Internal historical analysis. It covers: identifying causes of accidents, near-misses, anomalies that have occurred inside the plant and, after this, fires, explosions, emissions of dangerous substances that have occurred.
- External historical analysis of events, which have occurred in similar establishments, through consultation of updated databases (FACTS, eMARS, ARIA etc.).

Care must be taken on reference databases and plant and/or management measures to prevent events or limit their probability and consequences.

3. Evaluation of the frequency of events and scenarios

The identification of failure rates differs according to complex systems ("Fault tree analysis") or "Random" failure of a single component (equipment, systems, pipes).

Failure rates are taken from reliability databases (HSE, TNO Purple Book, EIGH, etc.), which have the following limitation: attributing to a well-identified component the results found on other identical components, but whose use characteristics and operating environment conditions may be substantially different. It is important to show that data are representative of the specific plant and that the chosen failure rates can be considered conservative.

4. Calculation of the frequency

For the calculation of scenario frequency using the event tree, it is important to remember that the trigger probability values (immediate or delayed triggering) must be pertinent to the plant reality or cautiously estimated in favour of safety.

5. Calculation of consequences

It starts with the identification of the source terms of the event, with the following assessment of the release dynamics and calculation of the flow rates (typical case of methane release).

The possible accident scenarios considered for this kind of plants are:

- Flash Fire. Fire of a flammable gas cloud that disperses into the atmosphere as a light neutral gas; the factors that affect modelling are density, weather conditions, release duration, cloud dilution, roughness. In case of interception systems, the duration of the release and the quantity released will be less: the frequency of the flash fire scenario could be reduced, as the smaller cloud is less likely to run to a trigger source. Therefore, the intervention times assumed must be consistent with the emergency procedures and be verified through field inspections.
- Vapour Cloud Explosion (VCE). It occurs when a confinement of the mass of flammable vapours is mixed with air at the moment of ignition. It is necessary to assess whether the air/natural gas mixture can fall within the flammability range, calculating the amount of flammable mixture between LFL (Lower Flammability Limit) and UFL (Upper Flammability Limit). Conditions that facilitate the occurrence of a VCE are releases in areas with a high degree of confinement or in closed environments.

The calculation of consequences therefore consists of the evaluation of damage distances through mathematical models.

6. Safety systems

The main prevention and protection measures aimed at reducing the frequency and/or extent of the consequences of accident events are:

- Advanced Monitoring and Analyser Systems (Real-time monitoring of hazardous substances; Early detection of potential safety breaches or threats; Automated responses to reduce human error) [7].
- Locking systems to make plants safe.
- Fire prevention measures and systems.

2.6 Risk assessment conclusions

As stated in the methodology before, the site operator produces a risk assessment with the description of a risk analysis and measures for the prevention of major accident hazards. The Italian competent authorities carry out the technical evaluation on the risk assessment identifying accident scenarios, damage distances and frequencies of occurrence, as well as the safety measures adopted, for the purposes of External Emergency Planning (EEP) and Land Use Planning (LUP).

3. Conclusions

The gas mixture contained within biodigesters/post digesters serving biogas production plants must be classified according to the CLP regulation, taking into account the hazard characteristics of the components of the mixture, not of the methane component only and considering the total quantity of biogas present in the plant (the free volume of the biodigesters/post digesters – net of the volume used to contain the biomass), also considering all the hold up of pipes/equipment used to contain and transfer the biogas. Only upgraded biogas can be classified with less restrictive thresholds range, as it is treated in compliance with the standards applicable to purified and upgraded biogas which ensure a quality equivalent to that of the natural.

On the basis of these considerations, it is possible to indicate some reference elements for an approach regarding the identification of dangers and the evaluation of risk in the bio-gas establishments, in accordance with the Seveso Directive, both for the correct implementation of the SMS (risk analysis represents one of the fundamental elements of SMS) and for the preparation of the safety report (only upper tier establishments), aimed at the continued safety and efficiency of these plants. At the same time, this allows us to provide technical support to the risk evaluation of these establishments, in order to pursue uniformity of assessment, ensuring not only the well-being of the staff establishments and the community around them but also the longevity and success of their operations. Although each installation may present strictly site-specific plant and territorial aspects, there are nonetheless elements that unite all installations. The present work can therefore be seen as an input for the subsequent preparation of specific guidelines for the evaluation of the risk analyses conducted in this type of establishments, given the simplified and relatively low plant complexity of these same.

Bibliography

- [1] **GU**. DECRETO LEGISLATIVO 26 giugno 2015, n. 105. (GU n.161 del 14-07-2015 Suppl. Ordinario n. 38)
- [2] MASE-ISPRA. Inventario degli stabilimenti a rischio di incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose. https://www.rischioindustriale.isprambiente.gov.it/seveso-query-105/AccessoPubblico.php (27/07/2023)
- [3] DESOTEC. Purification of Biogas and Biomethane. Part One. www.desotec.com. (28/03/2023)
- [4] Ministero dell'interno. D.M. 322016. Gazz. Uff. 12/02/2016, n. 35
- [5] **HSA**. Guidance on technical land-use planning advice for planning authorities and COMAH establishment operators. Dublin 2021. Health and Safety Authority
- [6] RIVM. https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/620201001.pdf (28/03/2023)
- [7] **IPPTS ASSOCIATES**. COMAH Regulations for Anaerobic Digestion and Biogas Plants. ANAER-OBIC DIGESTION, BIOGAS, METHANE. AUGUST 11, 2023
- [8] MATTM. Gli stoccaggi sotterranei di gas naturale Linee Guida per la valutazione dei Rapporti di Sicurezza. Coordinamento per l'uniforme applicazione sul territorio nazionale di cui all'art. 11 del decreto legislativo 26 Giugno 2015 n. 105

The closing of the circle "EMER": one waste catalyzes the treatment of another

<u>Giovanni Rissone, g.rissone@irideacque.com,</u> Monica Casadei, Francesco Capoti, Marzio Ferraglio – Iride Acque

Summary

The category "industrial waste" is a very broad set of wastes, most of them marked by a high degree of hazardousness and impact on the environment.

Iride Acque SB srl, with the aim of promoting a culture of sustainability, has focused on two types:

- Spent batteries, containing, in all versions, metals (particularly Fe, Mn, Zn) that are highly harmful to the environment
- Industrial wastes, particularly those with a high "biorefractory" organic load (non-biodegradable, toxic or microorganism-inhibiting compounds). Their treatment is critical: traditional biological oxidation systems are generally ineffective, while "advanced" chemical-physical systems still involve high profiles of complexity and inefficiency.

Starting from the insight that some metals present in spent batteries are the ones capable of catalyzing the formation of hydroxyl radicals, a highly reactive chemical species at the basis of one of the most effective processes used in the industrial purification field (the "Fenton" process), Iride Acque has developed and patented the "EMER- (Enhanced Magnetic Heterogeneous Reactor) technology."

At the heart of this technology is the innovative catalyst used: a secondary product patented by Iride to help realize the concept of circular economy in industry. Obtained from suitably treated battery waste, and immersed in the reaction bath adhered to high-potential magnetic rods, this material allows the development of advanced oxidation reactions of complex compounds up to 25 percent more efficient than traditional Fenton, with a significant reduction in the amounts of reagents used and by-products generated.

The presentation will feature.

- The results of studies by leading University Institutes, relating to catalyst characterization, releases, operational optimization and process kinetics
- The effectiveness of the technology, tested on a variety of wastewater types, reactor models developed by the Company, and a summary of operational data collected in the field.

Riassunto

La categoria "rifiuti industriali" è un insieme molto ampio di scarti, per la maggior parte contraddistinti da elevato grado di pericolosità ed impatto sull'ambiente.

Iride Acque Società Benefit, con lo scopo di promuovere la cultura della sostenibilità, si è focalizzata su due tipologie:

- Le batterie esauste, contenenti, in tutte le versioni, metalli (in particolare Fe, Mn, Zn) altamente dannosi per l'ambiente
- I reflui industriali, in particolare quelli ad alto tenore di carico organico "biorefrattario" (composti non biodegradabili, tossici o inibenti i microrganismi). Il loro trattamento è critico: i tradi-

zionali sistemi ad ossidazione biologica sono generalmente inefficaci, mentre quelli chimico-fisici "avanzati" comportano profili di complessità ed inefficienza ancora elevati.

Partendo dall'intuizione che alcuni metalli presenti nelle batterie esauste sono quelli in grado di catalizzare la formazione dei radicali ossidrili, specie chimica altamente reattiva alla base di uno dei più efficaci processi utilizzati in campo depurativo industriale (il processo "Fenton"), Iride Acque ha sviluppato e brevettato la "tecnologia EMER- (Enhanced Magnetic Heterogeneous Reactor)". Il cuore di questa tecnologia è l'innovativo catalizzatore impiegato: un prodotto secondario brevettato da Iride per contribuire a realizzare il concetto di economia circolare in ambito industriale. Ottenuto dai rifiuti di batterie opportunamente trattati, ed immerso nel bagno di reazione adeso a barre magnetiche ad alto potenziale, questo materiale permette lo sviluppo di reazioni di ossidazione avanzata dei composti complessi fino al 25% più efficaci del Fenton tradizionale, con una sensibile riduzione delle quantità di reagenti utilizzati e dei sottoprodotti generati.

Nella presentazione saranno illustrati

- I risultati degli studi di primari Istituti Universitari, relativi alla caratterizzazione del catalizzatore, ai rilasci, all'ottimizzazione operativa e alle cinetiche del processo
- L'efficacia della tecnologia, testata su svariate tipologie di reflui, i modelli di reattori sviluppati dalla Società e la sintesi dei dati operativi raccolti sul campo.

1. Introduction

The global concern about industrial wastewaters containing non-biodegradable molecules grows bigger each year: in fact, the presence of those organic pollutants in the generated wastewater, poses serious threat to public health since most of them are toxic, endocrine disrupting, mutagenic or potentially carcinogenic to humans, animals, and aquatic life.

These compounds are known to be high in chemical oxygen demand (COD) and low in biological oxygen demand (BOD): traditional wastewater management methods (biodegradation and/or physico-chemical processes, followed by filtration and adsorption-based separations) are able to treat a majority of anthropogenically-polluted water sources, but no single method described above is efficient enough to produce water with legally- and practically-acceptable levels of refractory toxic chemicals.[1]

Advanced oxidation processes (AOPs) have recently emerged as an important class of technologies for the oxidation and destruction of a wide range of organic pollutants in water and wastewater; these treatment processes, involving the generation of extraordinarily reactive species (hydroxyl radicals) can either eliminate organic pollutants completely through mineralisation or convert them to the products that are less harmful to human health and the aquatic environment. [2]

Hydroxyl radical is the second strongest oxidant preceded by the fluorine, and it reacts 106-1012 times faster than ozone depending on the substrate to be degraded [3] [4], with rate constants usually in the order of 106-109M-1 s-1 [5]

Starting from the insight that some metals present in spent batteries are the ones capable of catalyzing the formation of hydroxyl radicals, Iride Acque has developed and patented the "EMER- (Enhanced Magnetic Heterogeneous Reactor) technology". Core of this technology is the innovative catalyst used: a secondary product patented by Iride to help realize the concept of circular economy in industry.

Obtained from suitably treated battery waste this material allows the development of advanced oxidation reactions of complex compounds up to 25 percent more efficient than traditional Fenton, with a significant reduction in the amounts of reagents used and by-products generated.

2. Report

2.1 Fenton process

One common feature of AOP systems is higher treatment costs. The only exception is Fenton process, where under acidic conditions, a Fe2+/H2O2 mixture produces hydroxide radicals in a very cost-effective manner. [6]

The general mechanism of the Fenton process can be represented as follows:

$$Fe(II)+H_2O_2 \rightarrow Fe(III)+{}^{\bullet}OH+OH^{-} k = 40-80 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$$
 (1)

$$Fe(III)+H_2O_2\rightarrow Fe(II)+HO_2^{\bullet}+H^+ k=0.001-0.01 M^{-1} s^{-1}$$
 (2)

Even though the Fenton reaction was initially formulated for Fe(II) and H2O2 many redox-active metals such as Cu, Mn, and Ni also display Fenton-like reactions (Masarwa et al., 1988; Goldstein et al., 1993).

Fenton process has been applied to industrial wastewaters with the result of significant reductions of toxicity, improvement of biodegradability, colour and odour removal. [7]

Several successful applications have been reported in the treatment of diverse wastewaters from olive oil industries [8], textile industries [9], paper pulp factories [10], cork processing facilities [11] and winery industries [12], as well as effluents from refinery and fuel terminals [13], sludge waste [14], landfill leachate [15], [16] and contaminated soils [17][18].

The main reasons for the huge popularity and widespread applicability of Fenton oxidation processes are the high efficiency of mineralization (that enables the transformation of organic pollutants into non-toxic CO2), the shortest reaction time among all other AOPs, implementation at ambient pressure and temperature, the use of cheap, moderately reactive, and easy-to-handle reagents (iron and H_2O_2 ; easy implementation as a stand-alone or hybrid system and also facilitates easy integration in existing water treatment processes. [1] [19] [20]

2.2 Heterogeneous Fenton process

However, two main drawbacks were identified:

- wastage of oxidants due to the radical scavenging effect of hydrogen peroxide as in reaction and its self-decomposition as in reaction
- -continuous loss of iron ions and the formation of solid sludge, with several economic and environmental drawbacks.

These limitations can be overcome to some extent by application of heterogeneous catalysts: solid materials where HO• production occurs on the surface, with exposure to substrates occurring after diffusion away from the surface but confined to within the boundary layer near the surface. [21]

Decomposition of aqueous H2O2 over some metals (Ag, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn and Pt) and their oxides on supported silica, alumina, and zeolites has been a subject of research since the beginning of the previous century [22]. [23]. [24]

Numerous heterogeneous catalysts have been used in Fenton reactions: iron minerals (relatively less priced and can be separated magnetically from the reaction medium) [25], ferrites, clays, zeolite, alumina, fly ash based catalysts and other types of heterogeneous catalyst. [1] Generally speaking, solid catalysts must satisfy a number of requirements for the use as Fenton reagents, as having high activity for contaminant removal, presenting no leaching of active

cations, pH and temperature stability, and ability to promote a high H2O2 conversion with minimum decomposition. Also they should be reasonably priced. [20]

2.3 EMER – the IRIDE patented catalyst

The innovative catalyst, patented by Iride Acque Società Benefit, is obtained from the waste material of parts of batteries and/or batteries in common use, and has chemical-physical properties that can be used with high yields in advanced chemical oxidation processes.

This catalyst is composed of two main components:

- catalytic component A) consisting of a mixture of one or more of the following compounds: carbon black, lithium-iron phosphate, interstitial derivatives of graphite, oxides and/or hydroxides of iron, zinc, manganese, nickel, lithium;
- a catalytic component B) consisting of a mixture of one or more of the following metals: iron, zinc, manganese, nickel, lithium.

The process to obtain EMER catalyst from spent batteries is covered by international patent and constitutes an industrial secret. (Patent n. 102017000149010, 2017)

2.4 Effectiveness of the catalyst

A first study on the effectiveness of the Fenton process achievable with the use of the catalyst is presented in the patent application [(Brevetto n. 102017000149010, 2017)].

The test was performed on an industrial wastewater with an average COD of about 31,250 mg/l with a high presence of 4-Nitrophenol and trifluoroacetic acid (TFAA).

For comparison, on the same wastewater, a homogeneous "Fenton" treatment was conducted with the use of ferrous sulphate heptahydrate-as a catalyst.

The results are shown in table 1.

	Example 1	Example 2 (comparative)
COD reduction	83%	15%
Removal 4 nitrophenol	96%	35%

Tab. 1 - Results of the effectiveness of the Fenton process

From the values shown in the Table 1 you can see the considerable reduction of the COD, in absolute and compared to the classic Fenton.

A subsequent study was conducted by the team of Professor Di Palma of La Sapienza University of Rome. [26] from which it appears that in the oxidation tests with heterogeneous Fenton process, conducted on a reference compound (p-Benzoquinone) known to be recalcitrant to biological oxidation, the EMER catalyst process showed better performance than homogeneous Fenton (removal increase of about 25%), as reported in Fig. 1.

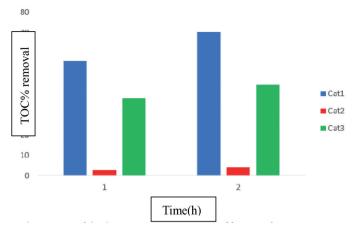


Fig. 1 – Catalytic oxidation of b-benzoquinone: effect of EMER catalyst (cat1), iron-free catalyst(cat2) and homogeneous Fenton(cat3)

Finally, Table 2 shows the performance results found during the activity of Iride Acque (in the laboratory and on an industrial scale) on real matrices, not synthetically generated in the laboratory.

	Abatement	Abatement	Abatement
Parameter	Min	Max	Medium
COD	24,7%	97%	69,5%
Non-ionic surfactants	21,2%	96,7%	73,9%
Anionic surfactants	92,4%	99,6%	96,8%
Cationic surfactants	52,9%	99,1%	85,2%
Total surfactants	80,3%	96,9%	89,9%

Tab. 2 - Performace results of Iride Acque

Investigations are still underway about the performance of the EMER process for nitrogen and phosphorus removal.

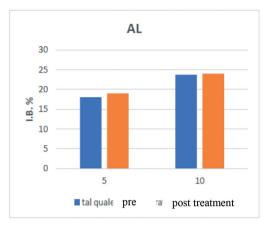
2.5 Release of cations from the catalyst

The verification that the catalyst did not change the composition of the wastewater making it incompatible with the current legislation for waste water was carried out by the University of Parma on a waste from the wine industry. All metals measured are below the limits of the wastewater legislation. Note the absence of harmful toxic metals such as chromium, lead, cadmium, mercury, arsenic and thallium. [27]

Further study was conducted by Prof. Di Palma of the University La Sapienza of Rome concluding that the use of catalyst, especially in the "flakes" configuration, allows not to alter the qualitative characteristics of the wastewater (in particular for the concentration of metals), maintain the effectiveness of the catalyst unchanged and significantly reduce the chemical sludge produced compared to the traditional Fenton process. [26]

2.6 EMER treatment unit configuration

The effects on the biodegradability of the EMER process were investigated on two industrial wastewaters of a waste treatment platform: one characterized as "Washing Water – AL" (TOC: 41 g/l) and the other as "Oily Emulsion – EO" (TOC: 29,000 mg/l). [Tesi [28]. In Figure 2 is reported the biodegradability index, defined as BOD/COD ratio, after 5 days (I.B.5) and 10 days (I.B.10).



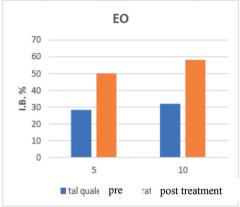


Fig. 2 – Change in biodegradability index after 5- and 10-days following treatment for wastewater AL(a) and EO(b)

EMER treatment of "EO" wastewater has very high performance (-86% of TOC) and a significant increase in the biodegradability of residual pollutants (I. B.5 goes from 28% to 50% while I. B.10 from 32% to 58%). The "AL" wastewater has less yields in terms of TOC removal (55%) and a slight effect on the I.B. (this is probably due to the presence of metal complexes, which require further subsequent treatments), and will be the subject of subsequent investigations.

2.7 EMER treatment unit configuration

In order to optimize the operating conditions of the EMER treatment sector, IRIDE ACQUE is carrying out an intense modelling and R&D activity.

Currently, 2 categories of plant have been installed at industrial scale:

- "recirculation" plant: where the wastewater, conditioned and equalized in a mixed tank, is recirculated in special reactors where are installed the catalyst rods. This includes the types of "column" and "vessels" plants.
- "immersed bars" plants: systems where catalyst bars are directly installed in the equalization and conditioning tank. This category includes the "Global Reactor" reactor, which also allows any pre-treatment and neutralization (or even coagulation-flocculation) to be carried out in this single reactor.

For all categories of plants, there is an excellent correspondence of performance on an industrial scale with that experienced in preliminary laboratory tests.

The choice of the type of plant to be adopted is in fact carried out by the Technical Office of Iride Acque based on the characterization of the wastewater, the study of the optimal process at laboratory scale and then the modeling and choice of the reactor that best allows the scale up of the same.

3. Conclusions

Advanced oxidation technologies have proven to be very effective to reduce the impact of bio-refractory and emerging organic pollutants.

Among those, processes exploiting the heterogeneous Fenton process are very promising, able to reduce the inefficiencies of the traditional homogeneous process. As part of these processes and in the field of catalysts, Iride Acque has invented and patented an innovative material obtained from spent batteries, that has shown promising results in terms of performance, reduction of required reagents and sludge production, life cycle duration and ease of use in industrial plants.

The EMER process, in addition to being one of the most effective and efficient among the heterogeneous AOP processes, represents a virtuous example of circular economy: waste from spent batteries becomes a catalyst for the treatment of other waste, the industrial toxic and bio-refractory wastewater.

Bibliografia

- [1] Sina Matavos-Aramyan, M. M. (s.d.). Advances in Fenton and Fenton Based Oxidation Processes for Industrial Effluent Contaminants Control-A Review.
- [2] Olcay Tünay, I. K.-A. (s.d.). Chemical Oxidation Applications. IWA Publishing.
- [3] **Arjunan Babuponnusami, K. M.** (s.d.). A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 2, Issue 1, 2014.
- [4] RC, W. (s.d.). Hand Book of Chemistry and physics, (58th Edn.). CRC Press, Ohio, US.
- [5] **Sixto Malato, J. B.** (s.d.). hotocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale: an overview. Applied Catalysis B: Environmental, Volume 37, Issue 1, 2002,.
- [6] **Zagorc-Končan, A. Ž.** (s.d.). Combination of Fenton and Biological Oxidation for Treatment of Heavily Polluted Fermentation Waste Broth. Acta Chim. Slov. 2005, 52, 131–137.
- [7] **P Bautista, A. F.** (2008). An overview of the application of Fenton oxidation to industrial wastewaters treatment. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 83.
- [8] Lucas MS, P. J. (2009). Treatment of olive mill wastewater by a combined process: fenton's reagent and chemical coagulation. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.
- [9] Soares PA, S. T. (2014). Insights into real cotton-textile dyeing wastewater treatment using solar advanced oxidation processes. Environ Sci Pollut Res Int. .
- [10] A.M. Amat, A. A. (2005). Solar photo-catalysis to remove paper mill wastewater pollutants. Solar Energy, Volume 79, Issue 4.
- [11] **Vilar VJ, M. M.** (2009). Solar treatment of cork boiling and bleaching wastewaters in a pilot plant. Water Res.
- [12] **Mosteo R, O. M.** (2007). Photo-Fenton processes assisted by solar light used as preliminary step to biological treatment applied to winery wastewaters. Water Sci Technol.
- [13] **Diya'uddeen Basheer Hasan, A. A.** (2012). Oxidative mineralisation of petroleum refinery effluent using Fenton-like process. Chemical Engineering Research and Design, Volume 90, Issue 2.
- [14] **Pham TT, B. S.** (2010). Influence of ultrasonication and Fenton oxidation pre-treatment on rheological characteristics of wastewater sludge. Ultrason Sonochem.
- [15] Yang Deng, J. D. (2006). Treatment of landfill leachate by the Fenton process. Water Research, Volume 40, Issue 20.
- [16] **Umar M, A. H.** (2010). Trends in the use of Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton for the treatment of landfill leachate. Waste Manag.
- [17] Ravikumar JX, G. M. (1992). Fenton's reagent as a chemical oxidant. Chem Oxid.
- [18] Yap CL, G. S. (2011). Fenton based remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons-contaminated soils. Chemosphere.
- [19] **Nishanth Thomas, D. D.** (s.d.). Heterogeneous Fenton catalysts: A review of recent advances. Journal of Hazardous Materials.

- [20] Marta I. Litter, M. S. (2017). An overview on heterogeneous Fenton and photoFenton reactions using zerovalent iron materials. Journal of Advanced Oxidation Technologies.
- [21] **Yufan Chen, C. J.** (2021). Heterogeneous Fenton Chemistry Revisited: Mechanistic Insights from Ferrihydrite-Mediated Oxidation of Formate and Oxalate. Environmental Science & Technology.
- [22] Weiss, J. (1935). The catalytic decomposition of hydrogen peroxide on different metals. Trans Faraday Soc.
- [23] **Meyerstein, D.** (2022). What Are the Oxidizing Intermediates in the Fenton and Fenton-like Reactions? A Perspective. Antioxidants.
- [24] L. C. Friedrich, M. A. (2012). Mechanistic Implications of Zinc(II) Ions on the Degradation of Phenol by the Fenton Reaction. J. Braz. Chem. Soc., Vol. 23, No. 7.
- [25] Erik Casbeer, V. K.-Z. (2012). Synthesis and photocatalytic activity of ferrites under visible light: A review. Separation and Purification Technology, Volume 87.
- [26] L. Di Palma, I. B. (2022). Prove sperimentali di ossidazione su letto catalitico EMER di reflui ad alto carico. Univesità La Sapienza Dip. Ing. Chimica.
- [27] **Mucchino, C.** (2020). Relazione tecnica sul possibile utilizzo di materiale proveniente da pile esauste, come catalizzatore di processi Fenton-like per l'abbassamento del tenore del COD in acque reflue. Università di Parrma Dip. Chimica.
- [28] C. Agostini, R. L. (2022). Studio sperimentale sull'utilizzo di residui metallici per il trattamento di acque industriali.

Il piano di comunicazione nel processo di raccolta differenziata del Comune di Avola

<u>Sebastiano Mangiagli sebastianomangiagli@libero.it</u> – Istituto Tecnico Industriale "E. Fermi", Via Torino n. 137, 96100, Siracusa

Riassunto

Per il successo di un programma di raccolta differenziata è necessario che si verifichi una completa adesione dei cittadini e, in generale, di tutte le utenze di produttori di rifiuti alle quali il programma si rivolge; questo perché la raccolta differenziata è una tipologia di servizio alla cui realizzazione concorrono in maniera determinante coloro ai quali esso viene rivolto.

Tale riflessione rappresenta l'assunto base del presente studio.

Obiettivo del presente lavoro consiste nel proporre una matrice finalizzata alla definizione e successiva realizzazione di un piano di raccolta differenziata locale, col supporto delle scelte operate dal Comune di Avola in termini di target di comunicazione all'interno del proprio piano.

Summary

For the succeed of recycling program, it is necessary that you become full support of the people and, in general, all the utilities of waste producers to whom the program is intended, this is because the collection is a classic case of service to the realization of which contribute in a decisive way those to whom it is addressed.

It is proposed a matrix aimed at defining and subsequent implementation of a plan for local recycling, with the support of the choices made by the City of Avola in terms of target communication within your plan.

1. Introduzione

Per un'efficace gestione dei servizi pubblici di igiene ambientale, e in particolar modo dei servizi di raccolta differenziata, è di fondamentale importanza un coinvolgimento positivo dei cittadini, delle imprese, delle attività commerciali e una completa accettazione delle modalità e della programmazione scelte.

Invero, l'utente è, a pieno titolo, protagonista attivo di tale sistema di gestione, incidendo sul risultato finale e, talvolta, stabilendo il successo o l'insuccesso del processo di raccolta [1]. Ne consegue che l'azione comunicativa sulla raccolta differenziata debba essere funzionale al sistema di raccolta, trasmettendo agli utenti l'utilità o la necessità di alcune scelte, indirizzandoli ad un corretto utilizzo dei servizi che sono loro offerti [2]. Occorre infatti che si diffonda la conoscenza di quali siano le conseguenze economiche e sociali di comportamenti impropri, quali il vandalismo, l'uso non corretto dei contenitori stradali e, più in generale, il non rispetto delle regole da seguire per una corretta raccolta differenziata [3]. Il che equivale a sostenere che, in sede di pianificazione della comunicazione [4], i policy maker devono sviluppare una radicata confidenza con il territorio e con le esigenze degli utenti, concentrare l'azione nei tempi opportuni, coinvolgere tutte le tipologie di residenti (sia le utenze domestiche che

quelle commerciali) e stabilire una perfetta sinergia con l'erogatore del servizio di raccolta rifiuti [5].

2. Relazione

2.1 Il contenuto del piano di comunicazione in un processo di raccolta differenziata

La comunicazione relativa alla raccolta differenziata deve essere impostata secondo logiche che favoriscano la consapevolezza ambientale dei cittadini: occorre, cioè, stimolare l'accettabilità sociale del cambiamento facendo comprendere ai cittadini le motivazioni sottostanti la raccolta differenziata. Infatti, la percezione del fatto che la differenziazione dei rifiuti abbia delle motivazioni eticamente valide e porti a delle conseguenze positive, si traduce in una spinta a realizzarla nel modo migliore possibile e, di conseguenza, in un incremento delle percentuali di raccolta differenziata registrate [6].

Oltretutto non è trascurabile la circostanza per cui differenziare deve essere visto oltre che come un obbligo legislativo ed etico anche come un'opportunità di miglioramento della qualità della vita.

Ciò premesso, nell'ambito di un processo di raccolta differenziata gli obiettivi della comunicazione sono sintetizzabili nei seguenti punti [7]:

- spiegare le motivazioni che inducono ad attivare servizi di raccolta differenziata,
- informare in ordine alle corrette modalità di effettuazione della raccolta,
- fornire assicurazioni sull'effettivo riciclaggio dei materiali separati,
- sottolineare i vantaggi economici ed ecologici che ne derivano.

Per raggiungere gli obiettivi sopra esposti, il piano di comunicazione deve rispettare alcuni punti cardine [8, 9]:

- la comunicazione deve essere parte di un progetto integrato con le strategie di raccolta;
- i vari interlocutori vanno informati con un linguaggio ed una metodologia idonei;
- la comunicazione deve risultare di chiara ed efficace comprensione, puntando anche sui semplici consigli pratici;
- gli strumenti di comunicazione vanno studiati al fine di raggiungere un ampio numero di utenti nel territorio considerato e di creare una partecipazione attiva delle utenze presenti.

Prima dell'avvio della campagna informativa è necessario pianificare le fasi di realizzazione della campagna stessa [10]:

- 1) concertazione con gli *stakeholder* per la verifica degli obiettivi quali-quantitativi da raggiungere in termini di raccolta differenziata;
- 2) analisi del contesto socio-ambientale del territorio di riferimento;
- 3) verifica delle possibilità di promozione dell'iniziativa;
- 4) individuazione della linea grafica;
- 5) individuazione dei contenuti;
- 6) individuazione degli strumenti da utilizzare.

In merito a quest'ultimo punto, si propone di seguito un'elencazione delle principali attività di comunicazione a sostegno di un processo di raccolta differenziata [7]:

- azioni di direct marketing: si tratta di attività di comunicazione rivolte direttamente ai destinatari, senza alcuna intermediazione [11], come ad esempio i social network [12] e la distribuzione di pieghevoli o di altro materiale informativo; materiali come volantini, opuscoli, calendari, che riportano le informazioni più dettagliate sulla raccolta differenziata (tipologie, destino finale, stazioni ecologiche, compostaggio domestico, centro di raccolta, attività domestiche e non domestiche, ecc.) vengono indirizzati a tutte le famiglie e progettati in modo da poter essere consultati con comodità ogni volta che sorge un dubbio durante la quotidiana separazione dei rifiuti domestici;

- azioni di direct relation, consistenti in incontri pubblici organizzati sotto forma di riunioni allo scopo di informare la popolazione sulle iniziative intraprese e sui risultati raggiunti e di garantire un contatto diretto tra cittadino e pubblica amministrazione. Ad essi possono anche partecipare le associazioni ambientaliste locali, per illustrare le loro attività sul territorio;
- affissione stradale: considerati i brevissimi tempi di esposizione al messaggio, non si presta a fornire istruzioni, ma ad attrarre l'attenzione dei passanti su temi generali; è il caso dei pannelli segnaletici che vengono affissi nei punti appositamente dedicati sul territorio comunale, sulle vetrine dei negozi e presso scuole e uffici pubblici. Essi, se posizionati in punti strategici del centro, oppure utilizzati durante manifestazioni sportive o culturali, costituiscono un elemento comunicativo di sicuro impatto per chiunque si trovi sul percorso;
- comunicazione tabellare, ovvero mediante periodici o quotidiani; in tali fattispecie è fondamentale la scelta del titolo, che ha il compito di indurre il lettore a proseguire nella lettura del testo:
- comunicazione radiotelevisiva, per il tramite delle emittenti locali; in questi casi ci si rivolge in forma diretta ai cittadini, per esempio attraverso interviste che forniscano informazioni e chiarimenti sulle modalità di raccolta differenziata;
- conferenze stampa: gli organi di stampa possono sostenere o, viceversa, ostacolare il governo locale; queste attività devono essere sviluppate anche prima dell'attivazione del servizio, per creare condivisione sugli obiettivi e consenso sulle scelte operative;
- convegni, seminari: è preferibile, infatti, che i giudizi positivi sul processo di raccolta differenziata provengano anche da esperti in materia in contesti istituzionalmente e scientificamente riconosciuti, quali le Università [13];
- programmi specifici per le scuole, in considerazione del fatto che è particolarmente importante coinvolgere i bambini e i ragazzi, cioè le future generazioni di cittadini, nella promozione delle iniziative legate al rispetto e alla tutela dell'ambiente [14];
- comunicazione interna: il coinvolgimento emotivo del personale front-office, che si pone come interfaccia aziendale nei confronti dei cittadini, è indispensabile ai fini del successo di un sistema di raccolta differenziata; i mezzi vanno dalla newsletter ai circoli di qualità, dalle presentazioni ai seminari interni, dai corsi di formazione alle attività sociali [15];
- numero verde, strumento di contatto con la cittadinanza, che favorisce l'ascolto dei bisogni degli utenti;
- coinvolgimento diretto degli opinion leader locali, come le associazioni di volontariato e ambientaliste, oltre alle rappresentanze sindacali, dell'industria, del commercio e dell'artigianato [16].

In considerazione dell'importanza rivestita dal piano di comunicazione nei processi di raccolta differenziata, il paragrafo successivo verrà dedicato all'analisi delle attività di comunicazione recentemente predisposte dal Comune di Avola.

2.2 Gli strumenti di comunicazione implementati dal Comune di Avola

Da quanto finora riportato è emerso come il successo di un sistema di raccolta differenziata non possa prescindere da un piano di comunicazione che garantisca la diffusione delle informazioni concernenti il processo di raccolta. Tale necessità è stata avvertita anche dal Comune di Avola (Comune della Provincia di Siracusa di 30.392 abitanti alla data del 1° gennaio 2023 [17]), che ha iniziato a erogare il servizio di raccolta differenziata porta a porta a partire dal 1° gennaio 2007.

Il Comune ha implementato le attività di comunicazione riportate nel precedente paragrafo, tenendo conto delle necessità e delle opportunità di accesso alle informazioni da parte delle diverse tipologie di destinatari, secondo la matrice successiva (Tabella 1).

		Attività di comunicazione										
		A	В	С	D	Е	F	G	Н	I	L	M
£ .5	Famiglie	X	X	X	X	X					X	X
Target generici	Studenti di scuole dell'obbligo	X	X	X		X		X	X		X	X
T 36	Studenti universitari	X	X	X	X	X		X				X
	Amministratori di condominio	X									X	
	Portieri	X	X		X							X
	Imprese di pulizia	X	X									X
ifici	Associazioni di cittadini	X	X				X	X				X
bec	Associazioni ambientaliste	X	X				X	X				X
Target specifici	Associazioni di categoria	X					X	X				X
Tar	Istituzioni	X	X				X	X				X
	Stampa	X	X				X	X				X
	Personale delle aziende	X			X					X		X
	Sindacati	X					X	X		X		X

A = azioni di direct marketing

B = azioni di direct relation

C = affissione stradale

D = comunicazione tabellare

E = comunicazione radiotelevisiva

F = conferenze stampa

G = convegni, seminari

H = programmi specifici per scuole

I = comunicazione interna

L = numero verde

M = coinvolgimento diretto

Tab. 1 – I target destinatari delle attività di comunicazione realizzate dal Comune di Avola nell'ambito del proprio piano di raccolta differenziata. Fonte: ns. elaborazione

Tale matrice, ottenuta sulla base di un sondaggio compiuto nei confronti di un campione di 304 cittadini avolesi maggiorenni, pari all'1% del totale, oltre a permettere di individuare le scelte in termini di target di comunicazione che il Comune ha operato all'interno del proprio piano di raccolta differenziata, consente di effettuare delle considerazioni di carattere economico.

Al riguardo va rilevato che:

- le azioni di *direct marketing*, di *direct relation*, di convegnistica e di coinvolgimento diretto sono state fondamentalmente rivolte a tutti i target di riferimento;
- l'affissione stradale, la comunicazione tabellare e radiotelevisiva, i programmi specifici per le scuole e il numero verde sono stati indirizzati prevalentemente ai target generici, vale a dire alle famiglie e agli studenti di ogni ordine e grado, andando incontro a costi molto elevati;
- le conferenze stampa e le azioni di comunicazione interna (mezzi dal costo molto contenuto o addirittura nullo) sono state dirette a target specifici, come le associazioni ambientaliste e i sindacati.

Infine, l'efficacia del piano di comunicazione implementato trova riscontro nei positivi dati della raccolta differenziata attualmente in fase di elaborazione da parte dell'amministrazione comunale.

3. Conclusioni

Nel presente articolo si è messo in risalto come anche nei processi di raccolta differenziata il piano di comunicazione abbia assunto un ruolo fondamentale nel panorama delle leve a disposizione delle amministrazioni pubbliche e nel contesto dei processi di innovazione. Le ragioni di questa centralità sono riconducibili ad alcuni mutamenti avvenuti sul piano istituzionale e su quello dei rapporti tra istituzioni e società.

Innanzitutto, è mutata la relazione tra amministrazioni e cittadini, considerato che ai cittadini sono stati riconosciuti nuovi diritti. In secondo luogo, le amministrazioni hanno riservato una maggiore attenzione alla qualità nell'erogazione dei servizi, orientando la loro azione in funzione dei bisogni dei cittadini e cercando soluzioni innovative sul piano dell'ascolto e dell'accesso ai servizi. Informare i cittadini sui servizi offerti da un Comune, possibilmente anticipando la loro richiesta, significa infatti porre le condizioni concrete per assicurare l'esercizio dei diritti e farsi carico in modo responsabile delle esigenze dei cittadini, garantendo loro pari opportunità nell'accesso ai servizi.

Ma il piano di comunicazione assume un ruolo decisivo anche nel percorso inverso della relazione tra amministrazione e cittadini. È sempre più importante ascoltare le esigenze, predisporre canali adeguati per raccogliere i suggerimenti, valutare la soddisfazione degli utenti. Per migliorare i servizi infatti occorre sviluppare un apprendimento organizzativo, il quale a sua volta necessita di percorsi strutturati di ascolto e confronto con i fruitori dei servizi.

È per questo che il monitoraggio del piano di comunicazione in un processo di raccolta differenziata rappresenta un fondamentale presupposto per l'efficace attuazione del piano, poiché consente di verificare l'adeguamento dell'organizzazione ai suoi contenuti, di accertare il funzionamento dell'amministrazione nel senso da esso indicato e di riscontrare la diffusione all'esterno e all'interno dell'Ente della nuova cultura di comunicazione. In corso di attuazione del piano può rendersi necessario apportare delle correzioni, per necessità sopraggiunte od evidenziatesi che riguardano le strategie di comunicazione, gli strumenti, i destinatari, i costi e i tempi previsti per la realizzazione degli obiettivi prefissati, nel rispetto della *ratio* cui si ispira il piano di comunicazione e delle scelte che si sono operate.

Per rispondere a queste esigenze, in conclusione, è necessario prevedere una verifica strategica dello stato di attuazione del piano, allo scopo di monitorare l'effettiva adozione delle scelte compiute in termini di congruenza tra i risultati conseguiti e gli obiettivi predefiniti e di verifica della realizzazione degli stessi.

Bibliografia

- [1] **A. Angelini**, **P. Pizzuto**, *Manuale di ecologia, sostenibilità ed educazione ambientale*, Franco Angeli, Milano, 2021;
- [2] V.R. Santamato, L'impresa di servizi nel cambiamento, Franco Angeli, Milano, 2016;
- [3] **D. Di Simone**, **S. Ronchi**, Terra! Conservare le superfici, tutelare la risorsa: il suolo, un bene comune, Maggioli, Rimini, 2012;
- [4] **C. Lakhan**, "Diversion, but at what cost? The economic challenges of recycling in Ontario", in *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 95, 2015, pp. 133-142;
- [5] **A. Caramis**, Comunicare porta a porta. Manuale di comunicazione pubblica sulla raccolta differenziata dei rifiuti, Bonanno, Acireale, 2012;
- [6] **S. Consiglio**, **G. Ragozini**, **A.M. Zaccaria** (a cura di), *Soddisfazione del cittadino e politiche pubbliche. La raccolta differenziata a Napoli*, Carocci, Roma, 2012;
- [7] **S. Mangiagli**, **L. Mangiagli**, "Il piano di comunicazione nel processo di raccolta differenziata del Comune di Cassino", in *Atti dei seminari Ecomondo*, 2015, pp. 35-40;
- [8] A. Papini, A. De Vivo, La comunicazione pubblica locale. I cambiamenti organizzativi nei processi di comunicazione dalla legge 150/2000 al DL 78/2010, Guerini e Associati, Milano, 2012;

- [9] **A. Di Raco**, Guida al piano di comunicazione. Come si fa la progettazione, la programmazione, il controllo, CELID, Torino, 2010;
- [10] L. Macchioni, V. Neri, F. Nobili, Il piano di comunicazione. Che cosa è, come farlo, perché farlo, ETS, Pisa, 2010;
- [11] **L.D. Spiller**, **M. Baier**, *Contemporary Direct and Interactive Marketing* (3rd Edition), Atlasbooks Dist Serv, Ashland OH, 2012;
- [12] **M. Alovisio**, **C. Borciu**, "I social media e le nuove opportunità per una pubblica amministrazione al servizio del cittadino: lo strumento delle social media policy", in *Informatica e diritto*, vol. 26, n. 1-2, 2017, pp. 293-317;
- [13] **R. Davidson**, Marketing Destinations and Venues for Conferences, Conventions and Business Events, Elsevier Science & Technology, Amsterdam, 2006;
- [14] **G. Viesti**, *Riuscirà il PNRR a rilanciare l'Italia?*, Donzelli Editore, Roma, 2023;
- [15] A. Padula, Marketing interno. Prospettive e applicazioni innovative, Hoepli, Milano, 2007;
- [16] M. Kang, T. Liang, B. Sun, H.-Y. Mao, "Detection of opinion leaders: Static vs. dynamic evaluation in online learning communities", in *Heliyon*, vol. 9, n. 4, 2023, pp. 1-22;
- [17] https://demo.istat.it/app/?l=it&a=2023&i=POS.

Enhancing Soil health and Nutrient Circularity in Europe: Hints from the Algaebrew Project

Antonietta La Terza antonietta laterza@unicam.it, Natasha Waris, Martina Coletta, Marco Monticelli, Giovanni Caprioli, Marco Cespi, Elena Vittadini – Università degli Studi di Camerino, 62032 Camerino (MC), Italia

Summary

Reliance on synthetic fertilizers for crop production harms soil health, humans, and the environment. The AlgaeBrew project aims to promote sustainable animal feed and fertilizer production and a circular bioeconomy by effectively managing nutrient-rich wastewater and spent grains from brewing industries for nutrient recycling and zero-waste generation. We successfully formulated a novel fertilizer with an optimized C/N ratio by using lipid-extracted microalgal biomass residues belonging to Nannochloropsis spp. The future step for the completion of this project is plant germination tests and ecotoxicological tests, which will be conducted to assess the potential toxicity of novel fertilizer, whereas plant pot experiments will be performed by using Lactuca sativa to assess the impact on crops and soil health. The final aim is to reduce dependence on synthetic fertilizers while promoting cost-effectiveness and sustainability in the long term.

Riassunto

La dipendenza dai fertilizzanti sintetici è deleteria per la salute del suolo, delle persone e dell' ambiente. Il progetto AlgaeBrew punta a promuovere la produzione di mangimi e fertilizzanti sostenibili e una bioeconomia circolare attraverso la gestione efficiente delle acque di scarto ricche di nutrienti prodotti dall'industria della birra per favorire il riciclo dei nutrienti e raggiungere l'obiettivo zero-sprechi. Utilizzando la biomassa residua di Nanochloropsis spp successivamente all'estrazione degli acidi grassi, abbiamo formulato un fertilizzante con un rapporto C/N ottimizzato. La fase successiva sarà quella di valutare l'eventuale fito- e zoo-tossicità del fertilizzante e valutarne gli effetti sulla salute delle colture e la salute del suolo. Lo scopo finale del progetto è quello di proporre soluzioni per ridurre la dipendenza dai fertilizzanti sintetici in maniera efficiente e sostenibile nel lungo termine.

1. Introduction

Humans depend a lot on mineral fertilizers (NPK fertilizers) for crop production to meet the food demand of the growing population [1]. However, these mineral fertilizers are produced through unsustainable means such as the Haber-Bosh Process (HBP), consuming 2% of global energy and emitting approximately 1.8% CO₂ [2]. Furthermore, Europe's total mineral fertilizer consumption is 10.9 million tonnes. If we focus on N and P-based fertilizers, then the total consumption of N fertilizer is 9.8 million tonnes, and the consumption rate of P fertilizer is 1.1 million tonnes in the year 2021 [3]. Moreover, the overuse of these mineral fertilizers poses various detrimental effects on humans and the environment, such as soil erosion, salinization, soil microbial community imbalance, intoxications, and many more [4].

Therefore, an alternate bio-based option as a fertilizer instead of mineral fertilizer is essential for the sustainability of the agricultural sector.

Microalgae-based fertilizer appears as a desirable and eco-friendly option for researchers due to its ability to slowly and gradually release nutrients when added to the soil, thus minimizing nutrient loss [5]. Several studies have demonstrated the use of microalgae as an approach to enhancing soil quality or serving as a fertilizer. A comparative analysis was conducted to evaluate the efficacy of microalgae-based fertilizer compared to conventional mineral fertilizer for enhancing the growth and development of tomato plants. The results revealed that tomatoes cultivated using microalgae-based fertilizer exhibited notable improvements in fruit quality, with higher concentrations of carotenoids and sugars. [6]. According to another study, the formulation made by combining microalgal and mineral fertilizer (MA50, CF50) improves rice quality while simultaneously increasing yields of grains and straw, plant growth, dry weight, biomass, amylose and protein content, as well as N, P, and K levels [7].

Currently, limited data and research are available on microalgae-based fertilizers. Therefore, in the recently started EU ERA-NETs – SUSFOOD2 project "AlgaeBrew" (https://www.ucd.ie/algaebrew/), we are currently using wastewater and spent grain generated by brewing industries to cultivate *Nannochloropsis spp.* and afterwards extract oil and use the leftover dried microalgae biomass of *Nannochloropsis spp.* to formulate novel fertilizers capable of promoting crop productivity and soil health more sustainably.

2. Report

2.1. Current progresses: Fertilizer Formulation

The Nannochloropsis sp. microalgae biomass residues were obtained from University College Dublin (UCD), Ireland and Swansea University (UK). After lipid extraction from the microalgae, elemental analysis was done to estimate its C/N ratio using the Elementar CHNS Vario Macro Cube analyzer. The elemental analysis results revealed the C/N ratio of the defatted microalgae to be 6.74. For the maintenance of soil health, it is crucial to choose a fertilizer with a C/N ratio that's less than 12. When the C/N ratio is significantly higher or lower than this optimal value, it can negatively affect the soil's microbial community composition, enzymatic activity, and, ultimately, the health of plants. When the C/N ratio is less than 20, N mineralization can occur, while a C/N ratio greater than 40 can cause N immobilization [8, 9, 10]. Thus, the C/N ratio of the final fertilizer formulation was optimized by adding a "second ingredient" after evaluating its C/N ratio. Because algae-based fertilizer is still under development, the authors prefer not to reveal the nature of this ingredient. The fertilizer was formulated using the granulation process, and nine formulations were prepared using different ratios of the defatted microalgae and the second ingredient. After granulation of all nine formulations, elemental analysis was performed for the estimation of the C/N ratio in each formulation and due to the unique blend of the second ingredient and defatted microalgae, we were able to obtain an optimized fertilizer formulation having a C/N ratio of 11 (Figure 1).

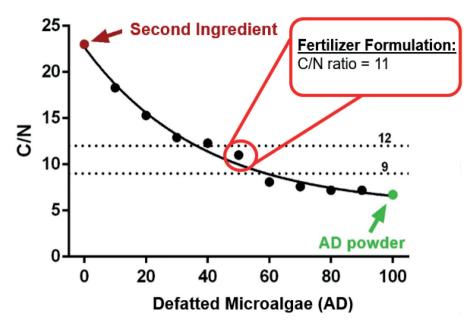


Fig.1 - C/N ratio of all the formulation made by using the defatted microalgae and the second ingredient.

2.2 Future experimentations: Ecotoxicity tests and assessment of crop and soil health

When it comes to bio-based fertilizers, it is crucial to conduct a thorough assessment of their toxic effects. This is due to the fact that these fertilizers can contain a wide range of chemicals and trace elements, which can have varying levels of toxicity on crops and soil organisms. Additionally, the processing procedures used to create these fertilizers can be quite complex, further increasing the need for careful evaluation. Various research studiesemphasize the adverse effect of organic amendments rich in ammonia-N to nitrate-N ratio on crops. Moreover, applying soil amendments can also significantly influence the composition and diversity of soil fauna and microbial communities. Specifically, earthworm populations may be affected, which could have broader implications for soil health and ecosystem functioning. It is, therefore, essential to carefully consider the potential impacts of soil amendments before their application and to monitor the effects on soil biota over time to ensure that they remain within acceptable limits [11, 12, 13]. Therefore, for the assessment of the phytotoxicological effects of the fertilizer on the seed germination and root length, we are currently applying the germination test for the following plant species Sinapis alba L., Lepidium sativum L., and Sorghum saccharatum L. After the germination test, for the assessment of the effects of fertilizer application on the soil fauna, an avoidance test will be performed using Enchytraeidae by following the protocol for earthworm avoidance test ISO 17512-1 (2008).

Additionally, *Lactuca sativa* will be used as a model plant for plant pot experiments to assess the plant's health, physical attributes, nutritional values and potential effectson itsrhizosphere microbiome by using a DNA metagenomic approaches. DNA will be extracted from the rhizosphere soil, and its quality will be assessed through a NanoDrop UV/Vis Spectrophotometer (NanoDrop 8000, Thermo Scientific). Afterwards, the NGS libraries will be prepared, and sequencing of 16S rRNA and 18S rRNA genes will be done by using Illumina MiSeq platform.

Bioinformatic and statistical analysis will be performed on the bacteria and protists communities, such as network analysis to analyze the microbial network.

Conclusion

AlgaeBrew is a transformative project that seeks to tackle pressing environmental issues through alternative strategies, including the elimination of mineral fertilizers and the effective management of wastewater and spent grains originating from the brewing industry. Based on the current progress on this project, an optimized formulation with the desired C/N ratio has been prepared. After the completion of the *AlgaeBrew* project, the agricultural sector can benefit from this optimized formulation with improved crop yield, zero waste, and sustainable practices that can help preserve our planet's natural resources for future generations.

Bibliography

- [1] Gerten, D., Heck, V., Jägermeyr, J., Bodirsky, B.L., Fetzer, I., Jalava, M., Kummu, M., Lucht, W., Rockström, J., Schaphoff, S. and Schellnhuber, H.J., 2020. Feeding ten billion people is possible within four terrestrial planetary boundaries. *Nature Sustainability*, *3*(3), pp.200-208.
- [2] Brandon, N., Armstrong, F., Chan, S.H., David, B., Dittmeyer, R., Durant, J., Guwy, A., Hirose, K., Kucernak, A., Metcalf, I. and Muskett, M., 2021. The role of hydrogen and ammonia in meeting the net zero challenge. *Climate Change: Science and Solutions, Briefing*, 4, pp.1-13.
- [3] **Statistics explained, 2023**. Statistics Explained. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_mineral_fertiliser_consumption#Analysis_at_EU_level (Accessed: 07 September 2023).
- [4] Osorio-Reyes, J.G., Valenzuela-Amaro, H.M., Pizaña-Aranda, J.J.P., Ramírez-Gamboa, D., Meléndez-Sánchez, E.R., López-Arellanes, M.E., Castañeda-Antonio, M.D., Coronado-Apodaca, K.G., Gomes Araújo, R., Sosa-Hernández, J.E. and Melchor-Martínez, E.M., 2023. Microalgae-based biotechnology as alternative biofertilizers for soil enhancement and carbon footprint reduction: Advantages and implications. *Marine Drugs*, 21(2), p.93.
- [5] Alvarez, A.L., Weyers, S.L., Goemann, H.M., Peyton, B.M. and Gardner, R.D., 2021. Microalgae, soil and plants: A critical review of microalgae as renewable resources for agriculture. *Algal Resear-ch*, 54, p.102200.
- [6] Coppens, J., Grunert, O., Van Den Hende, S., Vanhoutte, I., Boon, N., Haesaert, G. and De Gelder, L., 2016. The use of microalgae as a high-value organic slow-release fertilizer results in tomatoes with increased carotenoid and sugar levels. *Journal of applied phycology*, 28, pp.2367-2377.
- [7] Nayak, M., Swain, D.K. and Sen, R., 2019. Strategic valorization of de-oiled microalgal biomass waste as biofertilizer for sustainable and improved agriculture of rice (Oryza sativa L.) crop. *Science of The Total Environment*, 682, pp.475-484.
- [8] **Vu, T.Q.**, 2023. The potential of Plant Residues and Industrial Sewage Sludge as Organic Fertilizers, and their Effect on Soil pH and Moisture of Acid Sulfate Soil. *Malaysian Journal of Soil Science*, 27, pp.1-7.
- [9] **Xu, Z., Zhang, T., Wang, S. and Wang, Z.**, 2020. Soil pH and C/N ratio determines spatial variations in soil microbial communities and enzymatic activities of the agricultural ecosystems in Northeast China: Jilin Province case. *Applied Soil Ecology*, *155*, p.103629.
- [10] Geisseler, D., Horwath, W.R., Joergensen, R.G. and Ludwig, B., 2010. Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms—a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(12), pp.2058-2067.
- [11] **Selim, S.M., Zayed, M.S. and Atta, H.M.**, 2012. Evaluation of phytotoxicity of compost during composting process. *Nature and science*, 10(2), pp.69-77.
- [12] **Gunadi, B. and Edwards, C.A.**, 2003. The effects of multiple applications of different organic wastes on the growth, fecundity, and survival of Eisenia fetida (Savigny)(Lumbricidae). *Pedobiologia*, 47(4), pp.321-329.
- [13] Singh, B.K., Quince, C., Macdonald, C.A., Khachane, A., Thomas, N., Al-Soud, W.A., Sørensen, S.J., He, Z., White, D., Sinclair, A. and Crooks, B., 2014. Loss of microbial diversity in soils is coincident with reductions in some specialized functions. *Environmental Microbiology*, 16(8), pp.2408-2420.

REALIZZAZIONE E MONITORAGGIO DI SOLUZIONI INNOVATIVE PER UNA GESTIONE CIRCOLARE DI MATERIALI ED ENERGIA

Il Piano di Azione Europeo per l'Economia Circolare ha introdotto nuovi orientamenti nell'ambito delle dichiarazioni ecologiche da parte delle aziende e soprattutto ulteriori revisioni nella gestione di imballaggi e loro rifiuti, con una particolare attenzione alle microplastiche. La prevenzione, la raccolta efficiente, il riciclo ed il recupero di materiali ed energia devono essere accompagnati dal monitoraggio e dalla valutazione della loro sostenibilità, per un concreto raggiungimento degli obiettivi SDGs 2030. I contributi presentati in questa sessione riportano esempi di successo sulle priorità indicate implementati da istiuzioni del territorio (comuni, regioni, ARPA, etc) o associazioni industriali di produttori nazionali.

A cura di: Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo & Società Chimica Italiana – Divisione CABC, Associazione Rete italiana LCA – GdL Gestione e trattamento dei rifiuti

Presidenti di sessione:

Fabrizio Passarini, Università di Bologna Lucia Rigamonti, Politecnico di Milano Danilo Bonato, Direttore Generale Erion

Lombardia unica regione senza EGATO rifiuti: una scelta ancora sostenibile?

<u>Giorgio Ghiringhelli ghiringhelli@arsambiente.it</u>, Elda Proietti, ARS ambiente Srl – Gallarate (VA) Andrea Di Lascio, Saul Monzani, Studio DL&M, Bergamo

Riassunto

Il settore rifiuti risulta caratterizzato da una governance multilivello in cui i Comuni esercitino le loro funzioni in forma collettiva, sulla base di questi ambiti, per gestire il servizio in modo efficiente ed efficace: il modello illustrato è stato scelto da tutte le Regioni italiane ad eccezione della Lombardia, che ha adottato modelli alternativi agli ATO ammessi dal Codice dell'Ambiente. L'assenza di EGATO e di ATO in Lombardia rispetto alla regolazione operata da ARERA comporta numerose conseguenze negative per i Comuni che sono chiamati a svolgere il ruolo di ETC e di gestore per la TARI e il rapporto con le utenze. A norme e regolazione vigenti si possono individuare due strade possibili per sanare questa situazione: un ripensamento di Regione Lombardia sul suo modello di governance oppure la creazione di ambiti di fatto attraverso aggregazioni territoriali volontarie e l'applicazione della tariffa puntuale corrispettiva di bacino.

Summary

The waste sector is characterized by a multilevel governance in which the Municipalities exercise their functions collectively, on the basis of these areas, to manage the service efficiently and effectively: the model illustrated was chosen by all the Italian Regions with the exception of Lombardy, which has adopted alternative models to the ATOs permitted by the Environmental Code. The absence of EGATO and ATO in Lombardy with respect to the regulation carried out by ARERA entails numerous negative consequences for the Municipalities which are called to perform the role of ETC and manager for the TARI and the relationship with the utilities. Under current rules and regulations, two possible ways can be identified to remedy this situation: a rethinking by the Lombardy Region of its governance model or the creation of de facto areas through voluntary territorial aggregations and the application of the corresponding punctual tariff for the basin.

1. Il ruolo degli Ambiti all'interno della governace multi-livello

Il settore rifiuti risulta caratterizzato da una *governance* multilivello disciplinata, raffigurata in figura 1, dagli artt. 200 e seguenti del d.lgs. 152/2006 (c.d. Codice dell'Ambiente). In tale assetto, le funzioni amministrative connesse alla gestione dei rifiuti urbani risultano pertanto distribuite tra vari enti, ciascuno dei quali concorre al perseguimento degli obiettivi di efficienza, efficacia ed economicità.

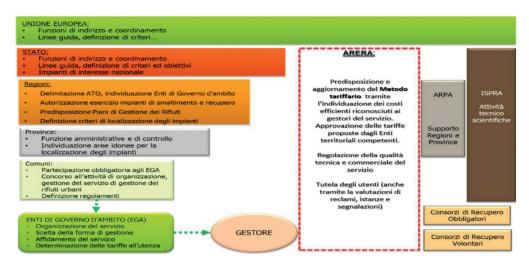


Fig. 1 - Governance multi-livello del settore rifiuti (Fonte: Green Book 2022, Utilitatis)

Uno dei cardini del sistema è rappresentato dal superamento delle gestioni frammentate (tipicamente rappresentate dalle gestioni comunali "in economia"), mediante l'individuazione di bacini sovracomunali per la gestione unitaria del servizio, denominati ambiti territoriali ottimali (ATO). Gli ATO possono quindi essere definiti come le porzioni di territorio nelle quali è organizzato il servizio di gestione rifiuti. Il Codice dell'Ambiente prevede che i Comuni esercitino le loro funzioni in forma collettiva, sulla base di questi ambiti, per gestire il servizio in modo efficiente ed efficace. La concreta delimitazione degli ATO deve essere definita dalle Regioni, ed il loro dimensionamento deve consentire economie di scala e di differenziazione che possano massimizzare l'efficienza del servizio; la dimensione deve essere, di norma, non inferiore a quella del territorio provinciale, ma è anche possibile la costituzione di ATO di dimensione diversa, motivando la scelta. In alcune Regioni, il territorio di ciascun ATO è stato ulteriormente suddiviso in sotto-ambiti denominati sub-ATO o ARO (Ambiti di Raccolta Ottimale), cui competono specifiche funzioni di organizzazione e gestione. Nella figura 2 è rappresentata la frammentazione e il diverso grado di attivazione di EGA, ATO e sub-ATO nelle diverse regioni italiane.

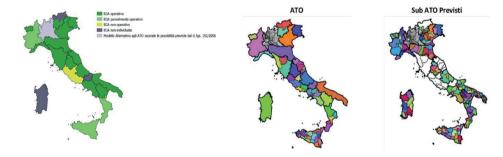


Fig. 2 - EGA, ATO e Sub-ATO in Italia (Fonte: Green Book 2022, Utilitatis)

Le funzioni amministrative legate all'organizzazione del servizio all'interno di ogni singolo ATO sono esercitate da un apposito ente di governo (c.d. EGATO), la cui istituzione spetta alle Regioni ed alle Province Autonome, e a cui partecipano obbligatoriamente tutti i Comuni ricadenti nell'ambito. Gli EGATO svolgono quindi il compito di organizzare il servizio, di

scegliere la forma di gestione, di determinare le tariffe all'utenza per quanto di competenza, di affidare la gestione e relativo controllo, di approvare i Piani d'ambito. Si noti che l'individuazione delle concrete forme di collaborazione tra gli enti locali necessarie a costituire l'EGATO è demandata alle singole Regioni (art. 201, comma 1 del Codice dell'Ambiente).

La predetta normativa (art. 201, comma 7 del Codice dell'Ambiente) fa comunque salva la possibilità da parte delle Regioni di adottare modelli "alternativi o in deroga al modello degli ambiti territoriali ottimali laddove predispongano un piano regionale dei rifiuti che dimostri la propria adeguatezza rispetto agli obiettivi strategici previsti dalla normativa vigente".

Così, ad oggi il percorso di istituzione e operatività degli EGATO non risulta pienamente compiuto nel territorio nazionale: solo in 12 Regioni tali enti risultano operativi, mentre nelle restanti aree si osservano situazioni di parziale operatività o totale inoperatività. Laddove gli EGATO non risultano operativi, i Comuni rappresentano gli enti territorialmente competenti. Tanto premesso, il modello di aggregazione tramite ATO così sinteticamente illustrato è stato scelto da tutte le Regioni italiane ad eccezione della Lombardia, che ha adottato modelli alternativi agli ATO ammessi dal Codice dell'Ambiente nei termini di cui sopra.

La scelta della modalità di affidamento del servizio e il relativo controllo è in capo agli EGA-TO, laddove sono effettivamente costituiti e operativi, o, in loro mancanza, alla Regione o Provincia autonoma o ad altri enti competenti (come ad esempio i Comuni).

Attualmente, le modalità di gestione di un servizio pubblico locale di rilevanza economica, categoria entro cui rientra il servizio di gestione dei rifiuti urbani, sono individuate in via generale nell'art. 14 del d.lgs. 23 dicembre 2022, n. 201 recante, appunto, "Riordino della disciplina dei servizi pubblici di rilevanza economica", oltre che nella normativa dell'Unione europea, cui viene fatto esplicito riferimento.

L'individuazione del gestore può avvenire essenzialmente in tre modi:

- affidamento mediante gara;
- affidamento a società mista pubblica/privata con gara "a doppio oggetto" per la scelta del socio privato operativo (c.d. partenariato pubblico/privato);
- affidamento *in house* a un soggetto interamente controllato dall'ente competente.

Peraltro, il diritto dell'UE consente alle amministrazioni pubbliche di adempiere anche direttamente alle funzioni di interesse pubblico, senza far ricorso ad entità esterne (gestione in economia), con riferimento ai servizi diversi da quelli a rete.

In concreto, su 2.092 gare espletate dal 2014 al 2021 per l'affidamento dei servizi di gestione dei rifiuti urbani, in termini dimensionali, l'85% dei bandi analizzati prevede l'affidamento del servizio per un solo Comune. L'85% delle gare riguarda l'affidamento del servizio per una durata pari o inferiore a 5 anni. Negli ultimi 11 anni si contano 18 gare espletate da Enti di governo per una popolazione complessiva di 7,8 milioni abitanti (13% della popolazione nazionale). Le Regioni più interessate dalle procedure di concessione sono Toscana e Emilia-Romagna, Regioni in cui gli Enti di governo dell'ambito risultano operativi da diverso tempo [1].

2. La situazione in Lombardia: i vantaggi delle aggregazioni volontarie delle gestioni

Regione Lombardia si è avvalsa della facoltà prevista dall'art. 200, comma 7, del Codice dell'Ambiente, nei termini già segnalati. di attuare forme alternative di gestione del servizio in questione rispetto a quella basata sugli ambiti territoriali ottimali. La disciplina lombarda in materia è contenuta agli artt. 14-24 della Legge Regionale n. 26 del 2003; occorre osservare che il testo normativo attuale è il frutto di numerose modifiche ed interpolazioni intercorse negli anni. Senza addentrarsi nei contenuti di maggior dettaglio della suddetta disciplina, basti qui evidenziare che:

- l'art. 15, comma 1 assegna ai singoli Comuni la funzione di affidare il servizio di gestione dei rifiuti urbani;

– in base all'art. 19, è previsto un atto pianificatorio regionale costituito da due elementi, ossia (1) l'atto di indirizzi, approvato dal Consiglio regionale su proposta della Giunta, e (2) il programma di gestione dei rifiuti, approvato dalla Giunta. Tale pianificazione è sottoposta ad aggiornamento almeno ogni sei anni;

– con l'abrogazione dell'art. 20, avvenuta nel 2015, non è più previsto il piano provinciale. Il più recente aggiornamento del Programma Regionale di Gestione dei Rifiuti 2014-2020 (c.d. PRGR) è del 2022 [3]. La modalità di affidamento dei servizi di igiene urbana più frequente in Lombardia risulta essere l'affidamento in house, scelto dal 52% dei comuni analizzati per un bacino complessivo di 3.281.872 abitanti (45% della popolazione del campione). L'esternalizzazione a terzi mediante gara è una modalità riscontrata nel 32% dei Comuni, per un bacino complessivo pari a quasi il 40% della popolazione regionale. Nonostante questo assetto, prevalgono gli affidamenti di rango intercomunale: come rappresentato in figura 3, il 91% dei comuni lombardi affida, infatti, il servizio di igiene urbana per un bacino che corrisponde all'unione di più territori. Tuttavia, da un punto di vista demografico, l'incidenza degli affidamenti intercomunali è minore (57% della popolazione), per via del fatto che 9 degli 11 capoluoghi di provincia e la città metropolitana (Comuni di Bergamo, Brescia, Como, Cremona, Lodi, Milano, Monza) hanno affidato il servizio unicamente per il proprio territorio [4].

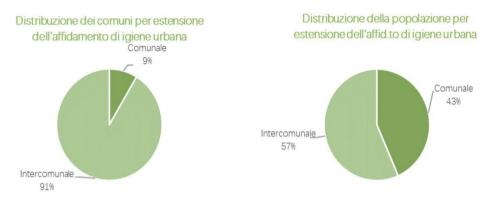


Fig. 3 – Estensione degli affidamenti in Lombardia (Fonte: Invitalia, 2019)

Vista la libertà lasciata ai Comuni di svolgere autonomamente o in maniera aggregata l'affidamento dei servizi di igiene urbana, nel territorio regionale sono presenti varie forme di governance territoriale:

raggruppamento in una "convenzione di scopo" intercomunale ai fini della redazione di un capitolato d'appalto comune e indizione di una gara con un Comune capofila (es. Convenzione Intercomunale di Sesto Calende – VA);

convenzione tra comuni per la gestione associata non solo della gara, ma anche di tutto il servizio (es. Comuni dei Navigli – MI);

costituzione di un'azienda a totale capitale pubblico che oltre ad indire la gara per la raccolta e trasporto, esercita funzioni operative come la distribuzione dei sacchi, i controlli e le campagne informative (es: CEM Ambiente);

società pubbliche partecipate dai Comuni che dispongono anche di mezzi di raccolta e che hanno un affidamento *in house* da parte dei Comuni (es. SAE Valle Sabbia – BS);

multiutilities che possiedono anche impianti di trattamento svolgendo gran parte del ciclo integrato di gestione all'interno dei loro affidamenti (es. A2A).

Nel PRGR recentemente aggiornato sono riportati gli effetti delle aggregazioni "evolute" (con sistemi di controllo sistematizzato dell'attività del gestore della raccolta, campagne periodi-

che di comunicazione ai cittadini, contatto periodico con l'utente, ad esempio attraverso la distribuzione di sacchi e contenitori, e studio di modelli innovativi di raccolta e passaggio alla tariffa puntuale) sulle *performance* tecniche ed economiche degli affidamenti: maggiore raccolta differenziata e minori costi complessivi.

Aggregazione comunale svolge anche funzioni avanzate di controllo dell'appalto e di coordinamento	Media di % RD	Media dei Costi totali	
Si aggregazione, No controllo e coordinamento avanzato	67,7%	107,94€	
Si aggregazione, Si controllo e coordinamento avanzato	73,9%	94,01€	

Fig. 4 – Effetto delle aggregazioni spontanee dei Comuni in Lombardia (elaborazione degli autori su dati PRGR Lombardia, 2022)

3. Problematicità dell'assetto lombardo

L'Autorità di regolazione (ARERA) si inserisce in un contesto in cui le competenze sono ripartite tra Ministero dell'ambiente, Regioni, Province, Comuni ed EGATO, come raffigurato in figura 5, prevedendo ruoli ben definiti soprattutto in funzione della gestione della qualità (TQRIF) e delle tariffe (MTR-2), e ragionando con logica "commerciale" come per gli altri servizi a rete regolati (gas, energia elettrica, idrico).



Fig. 5 – Ripartizione dei ruoli secondo Arera (elaborazione degli autori)

L'assenza di EGATO e di ATO in Lombardia rispetto alla regolazione operata da ARERA comporta, tra le tante, le seguenti conseguenze:

- grande impatto del livello regolatorio (tariffa MTR-2, qualità TITR e TQRIF), il quale assume quale presupposto il modello sovracomunale basato sugli ambiti;
- il sistema richiede un aumento continuo delle competenze che non si possono trovare nei Comuni (soprattutto i più piccoli) e dei costi;
- difficoltà per i singoli Comuni, che svolgono il duplice ruolo di ETC (Ente Territorialmente Competente), con compiti di regolatore dei servizi, e di Gestore (per la parte di riscossione TARI e rapporti con gli utenti);
- la frammentazione conseguente risulta simile a quella dei Comuni del sud che pur avendo EGATO e ATO non hanno ancora operativamente implementato la gestione sovracomunale.

Queste criticità sono in qualche modo certificate dai contributi di ANCI Lombardia e CI-SPEL Lombardia recepiti nell'aggiornamento del PRGR; tali enti hanno ad esempio proposto che "Regione Lombardia costituisca un tavolo di lavoro che, attraverso le loro forme associative, coinvolga i Comuni, le Province e le aziende operanti sul territorio lombardo per valutare se vi siano le condizioni per adottare modelli di governance locale che permettano di supportare i Comuni nel loro ruolo di ETC" (par. 4.5.5.1 PRGR Lombardia). Si segnala altresì la proposta di "Azioni a supporto della "governance" e degli aspetti regolatori" (par. 14.6 PRGR Lombardia), che mira ad ottenere il "coordinamento tra ARERA e ANCI per l'attuazione delle indicazioni delle autorità, in modo omogeneo, supportando i Comuni" nonché la "promozione di accordi territoriali per favorire le aggregazioni dei Comuni nell'erogazione dei servizi".

4. Le due possibili vie per la Lombardia

A fronte delle criticità precedentemente illustrate circa l'assetto di *governance* del settore rifiuti urbani in Lombardia, a norme vigenti si possono individuare due strade risolutive, molto diverse tra loro.

4.1 Percorso verso la costituzione degli ATO

Una prima opzione prevede un percorso formale per la costituzione di ATO su base territoriale o gestionale, sulla falsariga di quanto prospettato con lo studio della Città Metropolitana di Milano [5], che in effetti, pare munita delle competenze per la creazione di un ATO corrispondente al proprio territorio, anche in assenza di una delimitazione da parte della Regione. La base giuridica può essere costituita dalla legge istitutiva delle città metropolitane, ossia la l. 56/2014. Ai sensi del secondo comma dell'art. 1 di tale legge, la Città Metropolitana ha la funzione di promuovere e sviluppare la "gestione integrata dei servizi"; in base al successivo comma 44, spettano alla Città Metropolitana la "strutturazione di sistemi coordinati di gestione dei servizi pubblici", nonché l' "organizzazione dei servizi pubblici di interesse generale di ambito metropolitano". Nello studio richiamato si evidenza in effetti come a fronte di "un quadro piuttosto disomogeneo circa costi e performance di servizio...(omissis)...proprio questa disaggregazione è individuata come uno dei maggiori rischi di inefficienza e disparità negli standard quantitativi e qualitativi di gestione del servizio all'interno del territorio nazionale, regionale e provinciale. L'integrazione tra realtà territoriali risulta dunque imprescindibile, nell'ottica della razionalizzazione delle modalità gestionali di settore. Si ritiene che le ragioni a base dell'aggregazione promossa dal legislatore assommino sia quelle dirette a promuovere la riduzione del numero di stazioni appaltanti nel settore dei contratti pubblici, sia le più specifiche motivazioni di pubblico interesse che attengono alla regolazione del servizio...(omissis)... Dunaue anche in un ambito regionale quale quello lombardo, caratterizzato da risultati molto positivi in termini di presenza di impianti, quantità di rifiuti raccolti e tasso di raccolta differenziata, gli operatori testimoniano sia la necessità di uniformità nella regolazione applicabile sia la necessità di individuare una regia tra realtà, aggregate e non aggregate, volte all'efficiente gestione del servizio in un ambito sovracomunale.".

Auspicabilmente, congiuntamente alle iniziative dal territorio, potrebbe modificarsi la scelta politica di Regione Lombardia e prevedere un percorso di avvicinamento che permetta di non creare ambiti sulla base di principi che collidano con la norma primaria. La stessa Regione Lombardia ritiene che in ragione dei nuovi meccanismi tariffari adottati da ARERA possa essere efficiente identificare soggetti validatori di natura sovracomunale e procedere alla predisposizione di piani economico finanziari unici per bacini uniformi, ove sia possibile applicare la tariffa puntuale [2].

4.2 Favorire il passaggio a forme di gestione aggregata con tariffa puntuale di bacino

Un'alternativa percorribile a norme e assetto regolatorio vigenti potrebbe essere quella di favorire forme di aggregazione territoriali volontarie dotate però di due caratteristiche minime necessarie a poter espletare i compiti normalmente espressi negli Ambiti, ovvero:

essere forme di gestione aggregate "evolute", come visto in precedenza, che garantiscono *performance* migliori sia dal punto di vista tecnico che economico;

prevedere l'applicazione della tariffa puntuale corrispettiva di bacino (quindi riscossa dal gestore e costruita in modo omogeneo nel bacino di affidamento).

La tariffa puntuale corrispettiva ai sensi dell'art. 1, co. 668 della L. 147/2013 e del D.M. 20 aprile 2017, consiste in un sistema di quantificazione dei rifiuti prodotti dalla singola utenza che consenta di determinare una tariffa proporzionale, per la parte variabile, alla fruizione del servizio da parte dell'utenza stessa, riscossa dal gestore del servizio di raccolta rifiuti sotto forma di tariffa corrispettiva soggetta a IVA, come in tutti gli altri servizi pubblici a rete. Le tariffa puntuale corrispettiva di bacino permetterebbe quindi di:

promuovere la gestione integrata del servizio;

eliminare il servizio rifiuti dal bilancio dell'Ente;

rendere superflua la predisposizione e la validazione di un proprio "PEF grezzo";

trasferire al gestore il rischio creditizio;

rendere possibile una riduzione della TARI (economie di scala CARC, riduzione ACC); aprire alla possibilità di presentare un PEF unico di bacino ad ARERA; garantire una separazione dei ruoli secondo i principi di ARERA.

Bibliografia

Fondazione Utilitatis – Utilitalia, Green Book 2022: i dati sulla gestione rifiuti urbani in Italia, Roma, 2022:

Regione Lombardia, *Programma Regionale Gestione Rifiuti (PRGR)*, D.G.R. n° 6408 del 23/05/2022; **ARERA**, *Relazione annuale sullo stato dei servizi e sull'attività svolta – anno 2022*, Roma 15 luglio 2022; **Invitalia**, *Assetti organizzativi e gestionali del servizio rifiuti urbani*, Monitor-SPL, Roma, 2019;

Principi di sostenibilità nel settore rifiuti e regolazione Arera

<u>Giorgio Ghiringhelli, gghiringhelli@liuc.it,</u>Università Cattaneo – LIUC, Castellanza (VA) Donata Ceraldi, Manuel Mora – Utiliteam Co. Srl, Milano Elda Proietti – ARS ambiente Srl, Gallarate (VA)

Riassunto

Vi è una convergenza fra gli obiettivi strategici di ARERA e gli obiettivi di sviluppo sostenibile contenuti nell'Agenda 2030. I gestori dei servizi idrico e rifiuti si devono strutturare per agire, misurare e rendicontare secondo regolazione, e così facendo perseguono in modo concreto anche obiettivi di sostenibilità. Cardine di questo percorso è il bilancio di sostenibilità da redigere secondo i principi CSRD. Da questo approccio integrato possono nascere importanti opportunità per le imprese sottoposte a regolazione, in termini di migliore reputazione, maggiore facilità di accesso al credito e migliori performance caratteristiche del business stesso.

Summary

ARERA's strategic objectives and those set by the 2030 Agenda for sustainable development are convergent. Managers of water and waste services must be structured to act, measure and report according to regulations, and in doing so they also pursue sustainability objectives in a concrete way. The cornerstone of this path is the sustainability report to be drawn up according to the CSRD principles. This integrated approach can give rise to important opportunities for companies subject to regulation, in terms of better reputation, easier access to credit and better performance characteristics of the business itself.

1. Introduzione

Lo sviluppo sostenibile, secondo una definizione generale, è uno sviluppo in grado di assicurare "il soddisfacimento dei bisogni della generazione presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di realizzare i propri" [1]. L'Agenda 2030 è un programma d'azione sottoscritto a settembre del 2015 dai 193 Paesi membri delle Nazioni Unite (ONU) per promuovere lo sviluppo sostenibili a livello globale e locale. Essa è composta da 17 obiettivi (SDGs – Sustainable Development Goals), raffigurati in figura 1, e 169 target, da cui sono stati declinati 232 indicatori di monitoraggio [2].



Fig. 1 – Obiettivi per lo sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030

Gli *SDGs* hanno validità universale e affrontano, in maniera equilibrata, problematiche che attengono alle tre dimensioni dello sviluppo sostenibile, ossia economica, sociale ed ambientale. L'attuazione dell'Agenda 2030 richiede la collaborazione di tutte le componenti della società, ivi comprese le aziende.

Nello schema seguente (figura 2) vengono rappresentanti i principali step operativi che le aziende devono seguire per perseguire ed attuare gli *SDGs* [3].

Definizione SDGs/target prioritari	Misurazione	Rendicontazione
 Comprensione circa gli <u>SDGs</u> Individuazione degli <u>SDGs</u> e dei target sulla base del business, dei valori aziendali, degli stakeholder, etc. <u>Prioritizzazione</u> sulla base degli impatti delle attività aziendali (analisi rischi) 	 Definizione degli obiettivi aziendali Selezione dei KPI Raccolta e analisi dei dati 	Scelta del modello di rendicontazione Motivazioni circa la rilevanza degli SDGs scelti e descrizione modalità di implementazione Impatti sia positivi che negativi Rendicontazione che garantisca correttezza, coerenza e comparabilità dei dati Individuazione di ulteriori canali di comunicazione dei dati

Fig. 2 - Schema concettuale delle fasi per attuare gli SDGs in azienda (Utiliteam, 2022)

La sostenibilità aziendale può essere misurata considerando i così detti fattori ESG (*Environmental, Social, Governance*), che sono sintetizzati graficamente in figura 3.



Fig. 3 - I fattori ESG (Utiliteam, 2022)

Secondo l'approccio ESG le imprese hanno maggiori probabilità di avere successo e di generare maggiori rendimenti se creano valore per tutti gli stakeholder. Quindi, l'analisi ESG tiene conto del modo in cui le aziende operano nella società e su come ciò influisce sulle loro performance attuali e future. I possibili vantaggi per le imprese, derivanti da un approccio ESG, sono riconducibili principalmente ai seguenti:

- maggiore accesso al mercato dei capitali e a migliori condizioni (sia finanziamenti pubblici come ad es. i bandi PNRR, sia finanziamenti privati da Banche e altri investitori istituzionali);
 miglioramento della reputazione nei confronti delle diverse tipologie di stakeholder (fra cui l'opinione pubblica e la collettività);
- miglioramento dei risultati aziendali nel medio-lungo periodo derivante da una complessiva più efficiente gestione del business (migliore gestione dei rischi aziendali, miglioramento dei processi derivante da investimenti, benefici fiscali, maggiori Incentivi legati ad esempio alla Regolazione ARERA, etc.).

Il bilancio di sostenibilità è lo strumento utilizzato dalle imprese per informare gli stakeholder circa i propri obiettivi di sostenibilità e per rendicontare gli impatti, sia positivi che negativi, derivanti delle attività svolte. Il bilancio di sostenibilità si differenzia quindi dal bilancio d'esercizio, documento contabile che fornisce una rappresentazione della situazione patrimoniale e finanziaria dell'azienda.

Obbligatorio, ad oggi, solo per gli enti di interesse pubblico (grandi società quotate), dal 2024, in maniera progressiva, il bilancio di sostenibilità dovrà essere redatto da tutte le "grandi aziende non quotate" (che abbiano superato almeno due dei seguenti requisiti dimensionali: a) 250 dipendenti medi, b) stato patrimoniale > 20mln, c) ricavi netti > 40mln) e per le "piccole e medie imprese quotate" (che abbiano superato almeno due dei seguenti requisiti dimensionali: a) 10-250 dipendenti medi, b) stato patrimoniale 350.000-20mln, c) ricavi netti 700.000-40mln), coerentemente con quanto imposto dalla CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) [4].

Le tempistiche per la redazione del Report di sostenibilità sono rappresentate nello schema di seguito riportato (figura 4).

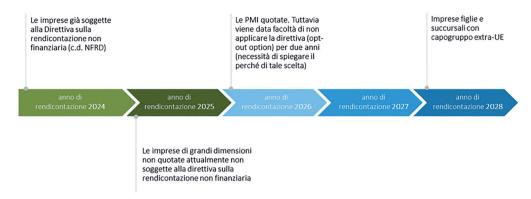


Fig. 4 – Milestone temporali del Rapporto di sostenibilità secondo la CSRD (Utiliteam, 2022)

Importante sottolineare, come si stia assistendo ad un aumento del numero di imprese che adottano il bilancio di sostenibilità su base volontaria. Tale scelta va legata ai numerosi vantaggi, come precedentemente esemplificati, che le imprese possono ottenere.

2. Percorso verso la sostenibilità per le imprese sottoposte alla regolazione ARERA

Le imprese che operano nei settori regolati da ARERA possono intraprendere il proprio percorso verso la sostenibilità seguendo i 4 step riportati in figura 5.

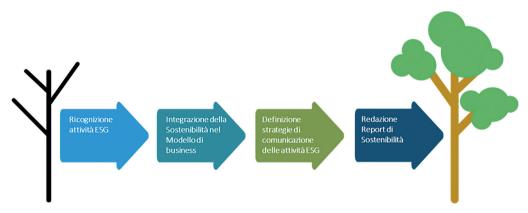


Fig. 5 – Percorso verso la sostenibilità (Utiliteam, 2022)

La ricognizione delle attività ESG è una analisi "as-is" volta a comprendere l'effettivo punto di partenza rispetto al tema della sostenibilità e prevede l'individuazione delle attività e delle iniziative in essere, la loro classificazione secondo la logica ESG e il collegamento con gli obiettivi dell'Agenda 2030. Risulta, inoltre, opportuno assegnare un livello di importanza alle attività e iniziative individuate, considerando in particolar modo i seguenti aspetti: obiettivi aziendali, stakeholder interessati, rilevanza rispetto alla regolazione ARERA.

L'integrazione della sostenibilità nel modello di business è condizione necessaria per le imprese che intendono raggiungere obiettivi di sostenibilità. È auspicabile che tale integrazione avvenga sulla base di un processo strutturato che coinvolga l'intera organizzazione a partire dal vertice. A tal proposito si rilevano le seguenti attività:

– integrazione delle strategie aziendali, definizione degli obiettivi di sostenibilità, integrazione dei fattori ESG nella gestione dei rischi;

- traduzione degli obiettivi di sostenibilità in azioni che possono avere impatto sull'organizzazione e sui processi aziendali;
- definizione degli indicatori di performance (KPI), calcolo e monitoraggio degli stessi;
- formalizzazione delle attività di comunicazione e reporting.

Le strategie di comunicazione delle attività ESG riguardano sia la comunicazione interna, volta principalmente allo sviluppo di una cultura di sostenibilità, che la comunicazione esterna, rivolta alle diverse tipologie di stakeholder e finalizzata a informare gli stessi circa gli obiettivi e le iniziative di sostenibilità. L'impostazione di una corretta strategia di comunicazione può inoltre consentire di porre le basi per una disclosure strutturata.

A valle del percorso si pone la redazione del bilancio/report di sostenibilità che ha l'obiettivo, come già accennato, di informare gli stakeholder utilizzando informazioni attendibili, chiare, trasparenti, misurabili e comparabili. Le fasi per la sua redazione sono riconducibili alle seguenti:

- 1. Identificazione degli stakeholder chiave;
- 2. Analisi di materialità:
- 3. Definizione dei KPI;
- 4. Predisposizione del bilancio/report.

Risulta inoltre importante identificare lo standard da utilizzare. Per le imprese sottoposte alla CSRD utilizzeranno gli EFRAG (European Financial Reporting Advisory). Le società non soggette a tale normativa avranno la facoltà di redigere il bilancio secondo uno dei vari standard disponibili. Ad oggi il maggiore riferimento per le imprese è rappresentato dai GRI Standards emanati dal Global Reporting Iniziative.

Con specifico riferimento alla definizione dei KPI, le imprese che operano nei settori regolati da ARERA possono utilizzare molte informazioni disponibili in quanto oggetto delle comunicazioni richieste dai testi integrati di emanazione dell'Autorità. Tali informazioni dovranno quindi essere integrate sulla base degli obiettivi di sostenibilità che la singola impresa ha precedentemente definito.

3. SDGs e regolazione ARERA

Con il Quadro Strategico 2022-2025 ARERA [5] ha aderito all'Agenda 2030, definendo obiettivi in linea con gli SDGs.

Nel Quadro strategico si possono riscontrare diversi richiami agli SDGs applicabili al servizio di gestione integrata dei rifiuti, ed in particolare ai target:

- 9.1: "Sviluppare infrastrutture di qualità, affidabili, sostenibili e resilienti (...) per supportare lo sviluppo economico e il benessere degli individui, con particolare attenzione ad un accesso equo e conveniente per tutti";
- 11.6: "Entro il 2030, ridurre l'impatto ambientale negativo pro-capite delle città, prestando particolare attenzione (...) alla gestione dei rifiuti urbani e di altri rifiuti";
- 12.5: "Entro il 2030, ridurre in modo sostanziale la produzione di rifiuti attraverso la prevenzione, la riduzione, il riciclo e il riutilizzo";
- 14.1 "Entro il 2025, prevenire e ridurre in modo significativo ogni forma di inquinamento marino, in particolar modo quello derivante da attività esercitate sulla terraferma (...)".

Nella tabella seguente è riportato il confronto tra gli obiettivi strategici dell'Autorità per l'area ambiente nel periodo 2022-2025 e l'Agenda ONU per lo sviluppo sostenibile al 2030 (figura 6). La declinazione di questi *SDGs* specificatamente al settore rifiuti sottoposto alla regolazione ARERA è di seguito esemplificata in alcuni passaggi chiave:

- promuovere la realizzazione di infrastrutture adeguate alla gestione del ciclo dei rifiuti (OS.14 con riferimento a *SDGs* 9, 11 e 12):
- o implementazione delle misure di incentivazione del sistema di perequazione connesso alle componenti ambientali introdotte (...) con il Metodo Tariffario Rifiuti per il secondo periodo regolatorio (MTR-2);
- o individuazione di primi standard minimi di qualità dei servizi infrastrutturali per la chiusura del ciclo;

OBIETTIVI STRATEGICI 2022- 2025	AGENDA ONU PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE AL 2030 Obiettivi Target					
AREA AMBIENTE	Objettivi	Target				
A. Sostenibilità ambientale nello svi	iluppo delle infrastrutture					
OS.13 Favorire il miglioramento della qualità e dell'efficienza delle infrastrutture idriche	Obiettivo 6. Garantire a tutti la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e delle strutture igienico-sanitarie	6.3 Migliorare entro il 2030 la qualità dell'acqua eliminando le discariche, riducendo l'inquinamento e il rilascio di prodotti chimici e sorie pericolose, dimezzando la quantità di acque reflue non trattate e aumentando considerevolmente il riciclaggio e il reimpiego sicuro a livello globale				
	Obiettivo 9. Costruire infrastrutture resilienti e promuovere l'innovazione ed una industrializzazione equa, responsabile e sostenibili	9.1 Sviluppare infrastrutture di qualità, affidabili, sostenibili e resilienti () per supportare lo sviluppo economico e il benessere degli individui, con particolare attenzione ad un accesso equo e conveniente per tutti				
	Obiettivo 13. Promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere il cambiamento climatico	13.b Promuovere meccanismi per aumentare la capacità effettiva di pianificazione e gestione di interventi increnti al cambiamento elimatico				
OS.14 Promuovere la realizzazione di infrastrutture adeguate alla gestione del ciclo dei rifiuti	Obiettivo 9. Costruire infrastrutture resilienti e promuovere l'innovazione ed una industrializzazione equa, responsabile e sostenibili	9.1 Sviluppare infrastrutture di qualità, affidabili, sostenibili e resilienti () per supportare lo sviluppo economico e il benessere degli individui, con particolare attenzione ad un accesso equo e conveniente per tutti				
	Obiettivo 11. Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili	11.6 Entro il 2030, ridurre l'impatto ambientale negativo pro-capite delle città, prestando particolare attenzione () alla gestione dei rifiuti urbani e di altri rifiuti.				
	Obiettivo 12. Garantire modelli sostenibili di produzione e di consumo	12.5 Entro il 2030, ridurre in modo sostanziale la produzione di rifiuti attraverso la prevenzione, la riduzione, il riciclo e il riutilizzo				
OS.15 Sostenere lo sviluppo e	Obiettivo 7.	7.3 Raddoppiare entro il 2030 il tasso globale di miglioramento dell'efficienza				
l'efficienza delle infrastrutture di teleriscaldamento	Assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni	energetica" 7.b Implementare entro il 2030 le infrastrutture e migliorare le tecnologie per fornire servizi energetici moderni e sostenibili ()				
	Obiettivo 9. Costruire infrastrutture resilienti e promuovere l'innovazione ed una industrializzazione equa, responsabile e sostenibili	9.1 Sviluppare infrastrutture di qualità, affidabili, sostenibili e resilienti () per supportare lo sviluppo economico e il benessere degli individui, con particolare attenzione ad un accesso equo e conveniente per tutti				
D C-4:L:!!4\	-i- a-uiiai-ii ai	CC-i				
B. Sostenibilità economico-finanzia OS.16 Riconoscere i cost efficienti per la sostenibilità della gestione del servizio idrico e delle tariffe all'utenza	ria delle gestioni, a condizioni di el Obiettivo 6. Garantire a tutti la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e delle strutture igienico-sanitarie	16.1 Ottenere entro il 2030 l'accesso universale ed equo all'acqua potabile che sia sicura ed economica per tutti 6.3 Migliorare entro il 2030 la qualità dell'acqua eliminando le discariche, riducendo l'inquinamento e il rilascio di prodotti chimici e scorie pericolose, dimezzando la quantità di acque reflue non trattate e aumentando considerevolmente il riciclaggio e il reimpiego sicuro a livello globale				
	Obiettivo 9. Costruire infrastrutture resilienti e promuovere l'innovazione ed una industrializzazione equa, responsabile e sostenibile	9.3 Incrementare l'accesso delle piccole imprese industriali e non (), ai servizi finanziari, compresi i prestiti a prezzi convenienti () 9.4 Migliorare entro il 2030 le infrastrutture e riconfigurare in modo sostenibile le industrie, aumentando l'efficienza nell'ultizzo delle risorse e adottando tecnologie e processi industriali più puliti e sani per l'ambiente ()				
OS.17 Riconoscere i costi efficienti del servizio di gestione dei rifiuti e	Obiettivo 12. Garantire modelli sostenibili di produzione e di consumo	12.5 Entro il 2030, ridurre in modo sostanziale la produzione di rifiuti attraverso la prevenzione, la riduzione, il riciclo e il riutilizzo				
determinare le tariffe alla luce del paradigma della <i>Circular Economy</i>	Obiettivo 14. Conservare e utilizzare in modo sostenibile gli oceani, i mari e le risorse marine per uno sviluppo sostenibile	14.1 Entro il 2025, prevenire e ridurre in modo significativo ogni forma di inquinamento marino, in particolar modo quello derivante da attività esercitate sulla terraferma ()				
	oni di erogazione dei servizi ambi					
OS.18 Promuovere livelli di qualità e tutele omogenee per tutti i consumatori dei servizi idrici	Obiettivo 6. Garantire a tutti la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e delle strutture igienico-sanitarie	6.4 Aumentare considerevolmente entro il 2030 l'efficienza nell'utilizzo dell'acqua in ogni settore e garantire approvvigionamenti e forniture sostenibili di acqua potabile, per affrontare la carenza idrica e ridurre in modo sostanzioso il numero di persone che ne subisce le conseguenze				
OS.19 Definire regole uniformi e schemi-tipo per migliorare la qualità del servizio di gestione dei rifiuti	Obiettivo 11. Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e	11.6 Entro il 2030, ridurre l'impatto ambientale negativo pro-capite delle città, prestando particolare attenzione () alla gestione dei rifiuti urbani e di altri rifiuti				
D. Affidabilità della governance per	sostenibili r favorire la convergenza					
OS.20 Promuovere strumenti per supportare il riordino degli assetti del settore ambientale	Obiettivo 10. Ridurre l'ineguaglianza all'interno di e fra le nazioni	10.3 Assicurare pari opportunità e ridurre le disuguaglianze nei risultati, () promuovendo legislazioni, politiche e azioni appropriate a tale proposito				
	Obiettivo 16. Promuovere società pacifiche e inclusive per uno sviluppo sostenibile, garantire a tutti l'accesso alla giustizia, e creare Istituzioni efficaci, responsabili ed inclusive a tutti i livelli	16.6 Sviluppare a tutti i livelli Istituzioni efficaci, responsabili e trasparenti 16.7 Garantire un processo decisionale responsabile, aperto a tutti, partecipativo e rappresentativo a tutti i livelli				

Fig. 6 – Confronto tra gli obiettivi strategici dell'Autorità per l'area ambiente nel periodo 2022-2025 e l'Agenda ONU per lo sviluppo sostenibile al 2030 (Arera, 2022)

collaborazione con le Amministrazioni individuate nel PNRR, per l'implementazione delle misure per la "Realizzazione [di] nuovi impianti di gestione rifiuti e ammodernamento di impianti esistenti" e dei "Progetti "faro" di economia circolare";

- riconoscere i costi efficienti del servizio di gestione dei rifiuti e determinare le tariffe alla luce del paradigma della *Circular Economy* (OS.17 con riferimento a *SDGs* 12 e 14):
- o aggiornamento e integrazione del metodo tariffario rifiuti;
- o revisione dell'attuale disciplina in materia di corrispettivi applicati agli Utenti;
- o determinazione e aggiornamento dei costi efficienti per la gestione della raccolta differenziata, del trasporto, nonché delle operazioni di cernita o di altre operazioni preliminari;
- o disciplina dei criteri e delle modalità per la definizione della componente a copertura dei costi di gestione dei rifiuti accidentalmente pescati;
- definire regole uniformi e schemi-tipo per migliorare la qualità del servizio di gestione dei rifiuti (OS.19 con riferimento a *SDG* 11):
- o definizione, aggiornamento e completamento della regolazione della qualità contrattuale e tecnica;
- o definizione dei contenuti minimi dei contratti di servizio, per la regolazione dei rapporti tra enti affidanti e soggetti gestori;
- o individuazione di procedure e criteri uniformi per il contenimento della morosità.

Il servizio idrico integrato (SII) è sottoposto alla regolazione di ARERA dal 2012 e quindi può essere paradigmatico relativamente a quanto accadrà nel settore rifiuti urbani.

Se si considerano, a titolo esemplificativo, le norme di qualità tecnica (RQTI) [6], le stesse prevedono standard di qualità definiti principalmente tramite macro-indicatori. Gli stessi determinano specifici obiettivi di mantenimento o miglioramento sulla base della classe di appartenenza; di conseguenza i gestori devono effettuare interventi di natura gestionale o infrastrutturale volti al perseguimento di tali obiettivi. Tra i macro-indicatori più rilevanti dal punto di vista della sostenibilità ambientale si segnalano le perdite idriche (M1), la qualità dell'acqua depurata (M6) e lo smaltimento fanghi in discarica (M5).

Per il settore rifiuti è in corso lo sviluppo di meccanismi analoghi che comporteranno la definizione da parte di ARERA di obiettivi che i gestori dovranno raggiungere ai fini della compliance regolatori e che saranno utili anche per misurare la sostenibilità.

Bibliografia

- [1] Commissione Brundtland, Our Common Future, Rapporto, 1987;
- [2] AA.VV., Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, ONU -United Nations, 2015;
- [3] **D. Ceraldi**, Sostenibilità per il comparto ambiente | strategie e strumenti, in Atti del Convegno Utiliteam Co. Srl, 9 nov. 2022, Milano;
- [4] **Direttiva UE 2022/2464** che modifica il regolamento (UE) n. 537/2014, la direttiva 2004/109/CE, la direttiva 2006/43/CE e la direttiva 2013/34/UE per quanto riguarda la rendicontazione societaria di sostenibilità;
- [5] ARERA, Quadro strategico 2022-2025 dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, Delibera 13 gennaio 2022, 2/2022/A;
- [6] ARERA, Regolazione della qualità tecnica del servizio idrico integrato ovvero di ciascuno dei singoli servizi che lo compongono (RQTI), Delibera 27 dicembre 2017, 917/2017/R/idr

Soluzioni innovative per l'economia circolare e la bioeconomia: esperienze e opportunità per le imprese del settore agroalimentare nell'ambito della Politica Agricola Comune (PAC) 2023/2027

<u>Luigi Servadei l.servadei@masaf.gov.it</u> – CREA – Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Roma

Riassunto

L'economia circolare e la bioeconomia rappresentano un approccio strategico per affrontare le sfide ambientali e climatiche delle filiere agroalimentari.

La gestione circolare dei materiali e dell'energia nel settore agroalimentare richiede l'adozione di soluzioni innovative e una visione integrata che coinvolga l'intera filiera

Queste soluzioni innovative rappresentano una grande opportunità per sviluppare un sistema agroalimentare più sostenibile, efficiente e competitivo.

La transizione verso filiere agroalimentari sostenibili richiede il supporto di politiche pubbliche adeguate e investimenti mirati, come la Politica Agricola Comune (PAC) 2023/2027 e il Piano Nazionale Industria 4.0 (Transizione 4.0).

L'economia circolare e la bioeconomia rappresentano una grande opportunità per un futuro più sostenibile e resiliente per le imprese del settore agroalimentare.

Summary

Circular economy and bioeconomy represent a strategic approach to addressing the environmental and climate challenges of agri-food supply chains. The circular management of materials and energy in the agri-food sector requires the adoption of innovative solutions and an integrated vision that involves the entire supply chain.

These innovative solutions present a significant opportunity to develop a more sustainable, efficient, and competitive agri-food system. The transition towards sustainable agri-food supply chains requires the support of appropriate public policies and targeted investments, such as the Common Agricultural Policy (CAP) 2023/2027 and the National Industry 4.0 Transition Plan (4.0 Transition).

Circular economy and bioeconomy offer a great opportunity for a more sustainable and resilient future for businesses in the agri-food sector.

1. Introduzione

L'economia circolare e la bioeconomia rappresentano un approccio strategico per affrontare le sfide ambientali e climatiche delle filiere agroalimentari.

Negli ultimi anni, le imprese del settore agroalimentare hanno sostenuto importanti investimenti per integrare nei loro processi di produzione soluzioni innovative per promuovere una gestione circolare ed efficiente di materiali ed energia. Ciò implica una progettazione dei produtti e dei processi che tenga conto dei principi dell'economia circolare e della sostenibilità delle filiere produttive.

La gestione circolare dei materiali e dell'energia nel settore agroalimentare richiede l'adozione di soluzioni innovative e una visione integrata che coinvolga l'intera filiera.[1] Attraverso il riciclo, il recupero delle risorse, l'efficienza energetica, l'uso di tecnologie avanzate e la collaborazione tra gli attori della filiera, è possibile promuovere una produzione e un consumo agroalimentare più sostenibili, contribuendo alla mitigazione dei cambiamenti climatici e alla conservazione delle risorse naturali.

Queste soluzioni innovative rappresentano una grande opportunità per sviluppare un sistema agroalimentare più sostenibile, efficiente e competitivo, basato sulla riduzione degli impatti ambientali e sulla valorizzazione della qualità dei prodotti.

La promozione della bioeconomia e dell'economia circolare comportano significativi vantaggi, tra cui una minore dipendenza dalle risorse non rinnovabili, una riduzione dell'impatto ambientale e una maggiore sicurezza alimentare. Inoltre, stimola l'innovazione, promuovendo la ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie e soluzioni sostenibili.[2]

Le soluzioni innovative basate su principi di economia circolare e bioeconomia consentono di migliorare l'efficienza delle filiere produttive e di creare nuove opportunità economiche. [3]

La transizione verso l'economia circolare e la bioeconomia richiede il supporto di politiche pubbliche adeguate e investimenti mirati.

La Politica Agricola Comune (PAC) rappresenta uno strumento fondamentale per supportare le imprese del settore agroalimentare nel rafforzare la sostenibilità ambientale dei processi di produzione, la qualità dei prodotti e la sicurezza alimentare.

Inoltre, il settore dell'industria agroalimentare può trarre grandi benefici dall'impiego delle tecnologie di Industria 4.0 in termini di ottimizzazione, automazione e riduzione degli impatti ambientali dei processi di produzione. [4]

Le imprese agroalimentari che sfruttano queste opportunità possono ottenere un vantaggio competitivo significativo, migliorando la loro efficienza operativa e soddisfacendo le crescenti richieste dei consumatori di avere prodotti agroalimentari di qualità, sostenibili e sicuri.

2. Relazione

L'introduzione di soluzioni innovative nel settore agroalimentare, ispirate ai principi della bioeconomia, riguarda diversi ambiti, come la produzione, la trasformazione, il consumo, il recupero e il riciclo dei materiali, la gestione dei rifiuti, la produzione di energia da fonti rinnovabili, ecc. [5]

Le imprese del settore agroalimentare che adottano soluzioni innovative sostenibili possono beneficiare di incentivi finanziari e di programmi finalizzati a ridurre l'impatto ambientale delle loro attività.

La PAC 2023/2027 offre una serie di strumenti e opportunità per sostenere le imprese agroalimentari che sviluppano progetti legati alla bioeconomia, che riducono gli sprechi alimentari e che incentivano il riciclo e riuso degli scarti e dei sottoprodotti di lavorazione. Il Piano Strategico Nazionale della PAC 2023/2027 rappresenta il principale strumento di finanziamento per promuovere soluzioni innovative, legate all'economia circolare e alla bioeconomia, per le imprese del settore agroalimentare (Tab. 1). [6] Interventi per promuovere l'innovazione tecnologica e la digitalizzazione dei processi di produzione

Investimenti per rafforzare l'efficienza dei processi produttivi e la riduzione dell'utilizzo delle risorse

Investimenti per promuovere l'efficienza energetica e l'utilizzo di fonti di energia rinnovabili

Investimenti per promuovere l'uso sostenibile delle risorse idriche e la riduzione delle emissioni in atmosfera

Investimenti per promuovere il recupero, riutilizzo e riuso di scarti alimentari e sottoprodotti di lavorazione e di materiali riciclati

Progetti per la riduzione dello spreco alimentare

Misure per promuovere l'agricoltura di precisione e sistemi digitali per l'agricoltura

Misure per incentivare pratiche agricole a ridotto apporto di sostanze chimiche

Misure per incentivare l'introduzione di certificazioni ambientali di processo e di prodotto

Attività di formazione degli operatori e servizi di consulenza alle imprese

Tab. 1 – Opportunità e strumenti del Piano Strategico Nazionale della PAC 2023/2027 per promuovere l'economia circolare e la bioeconomia e per sviluppare filiere agroalimentari sostenibili. Fonte: Piano Strategico Nazionale della PAC 2023/2027.

Il Piano promuove e sostiene anche i progetti che prevedono l'introduzione delle tecnologie avanzate legate a Industria 4.0, come, ad esempio, l'automazione, l'Internet of Things (IoT), i Big Data e Analytics, l'Intelligenza Artificiale, la realtà aumentata e il Cloud Computing (Tab. 2). Queste tecnologie possono essere applicate alle filiere agroalimentari per migliorare l'efficienza, la sostenibilità e la sicurezza alimentare e competitività del settore. [7] Di seguito sono descritte le principali soluzioni innovative per promuovere l'innovazione tecnologica, l'efficienza dei processi produttivi, il riuso, recupero e riutilizzo di materiali riciclati, l'efficienza energetica e l'utilizzo di fonti rinnovabili delle filiere agroalimentari.

Autonomous robots: robot collaborativi interconnessi e programmabili

Industrial Internet of Things: comunicazione multidirezionale tra processi produttivi e prodotti

Big Data & Analytics: analisi di base dati per ottimizzare prodotti e processi produttivi

Horizontal/Vertical integration: integrazione dati lungo tutta la catena del valore

Cloud Computing: gestione di elevate quantità di dati su sistemi aperti

Simulation: simulazione tra macchine interconnesse per ottimizzare i processi

Augmented reality: realtà aumentata a supporto dei processi produttivi

Artificial intelligence

Blockchain

Tab. 2 – Soluzioni tecnologiche previste da Industria 4.0 utilizzate nel settore agroalimentare per promuovere l'economia circolare e la bioeconomia. Fonte: Piano Nazionale Impresa 4.0

2.1 Innovazione tecnologica e digitale

L'innovazione tecnologica sta rivoluzionando il settore agroalimentare, consentendo alle imprese di migliorare la produttività, la sostenibilità ambientale e la qualità dei prodotti.[8] In questo ambito dobbiamo evidenziare il ruolo fondamentale delle tecnologie avanzate,

come l'Internet of Things (IoT), l'Intelligenza Artificiale (IA) e la robotica, nell'ottimizzare la produzione, la logistica e la distribuzione dei prodotti.

Infatti, un aspetto fondamentale dell'innovazione tecnologica nei processi di produzione agroalimentare è l'adozione di sistemi di gestione dati avanzati e l'IoT. Questi sistemi consentono di raccogliere, archiviare e analizzare enormi quantità di dati provenienti da varie fonti, come sensori nelle coltivazioni, apparecchiature di produzione e veicoli di trasporto. L'analisi di questi dati offre una visione approfondita delle operazioni, permettendo alle imprese di prendere decisioni informate e reagire in tempo reale alle fluttuazioni delle condizioni ambientali o della domanda di mercato.

L'IA è un altro pilastro chiave dell'innovazione tecnologica. Attraverso l'analisi dei dati provenienti da sensori e sistemi di monitoraggio, l'IA offre la capacità di prendere decisioni in tempo reale sulla gestione delle risorse e sulla pianificazione della produzione. Ciò si traduce in un'ottimizzazione della gestione delle risorse, una maggiore sostenibilità ambientale e una migliore gestione dei costi.

La digitalizzazione dei processi di produzione consente anche una tracciabilità e rintracciabilità completa dei processi di produzione e dei prodotti alimentari. Questo non solo garantisce la sicurezza alimentare, ma apre anche nuove opportunità per il marketing basato sulla provenienza e sulla qualità.

La tracciabilità alimentare è diventata un elemento cruciale per la fiducia dei consumatori. La blockchainoffreunsistema ditracciamento sicuro etrasparente per l'intera filiera agroalimentare. L'innovazione tecnologica sta cambiando il modo in cui le imprese gestiscono le risorse naturali, con la sostenibilità che è diventata un driver chiave per l'innovazione tecnologica nel settore agroalimentare. Le imprese stanno introducendo soluzioni basate sull'utilizzo di energie rinnovabili, sulla riduzione delle emissioni di anidride carbonica e sull'utilizzo di materiali riciclati per ridurre l'impatto ambientale della produzione alimentare.

L'innovazione tecnologica sta cambiando i processi di produzione nel settore agroalimentare, portando vantaggi tangibili in termini di efficienza, sostenibilità e qualità dei prodotti.

La gestione dei dati e l'analisi dei Big Data stanno diventando essenziali per migliorare continuamente l'efficienza dei processi.

L'innovazione tecnologica offre nuove opportunità per lo sviluppo di tecniche e processi produttivi più sostenibili.

2.2 Efficienza dei processi produttivi e riduzione del consumo delle risorse

L'ottimizzazione dei processi, l'innovazione e la gestione intelligente delle risorse possono contribuire in modo significativo a migliorare la produzione alimentare e a ridurre in modo significativo gli impatti ambientali. [9]

Le imprese agroalimentari stanno adottando pratiche sempre più sostenibili e stanno investendo in tecnologie che riducono l'impatto ambientale dei processi di produzione.

La digitalizzazione e l'analisi dei dati svolgono un ruolo essenziale nell'efficienza dei processi, consentendo una migliore pianificazione, monitoraggio e adattamento in tempo reale. L'uso di algoritmi e dell'intelligenza artificiale aiutano a ottimizzare la produzione.

Nel settore agricolo, l'agricoltura di precisione e l'uso di tecnologie avanzate, come l'IoT e l'IA, consentono agli agricoltori di massimizzare la resa delle colture, riducendo al contempo l'uso di acqua, fertilizzanti e pesticidi. Questo approccio non solo preserva le risorse naturali, ma contribuisce anche a migliorare la qualità dei raccolti.

Nel settore alimentare l'automazione e la robotica migliorano la produttività e l'efficienza dei processi di produzione, riducendo al minimo il consumo di risorse. Inoltre, l'introduzione di nuove tecnologie di produzione, che prevedono la valorizzazione degli scarti alimentari per la produzione di ingredienti o alimenti, consentono di ridurre gli sprechi.

La riduzione degli sprechi alimentari rappresenta una grande opportunità per migliorare l'efficienza della filiera agroalimentare. Attraverso l'adozione di pratiche di prevenzione degli sprechi, recupero e riciclo dei rifiuti alimentari, si può minimizzare l'impatto ambientale e migliorare la sostenibilità complessiva del sistema.

La gestione sostenibile delle risorse naturali, come l'acqua e l'energia, è un altro aspetto chiave per la riduzione del consumo delle risorse. Le aziende stanno implementando pratiche più sostenibili e investendo in tecnologie per l'efficienza energetica e l'uso razionale dell'acqua. In definitiva, l'utilizzo di tecnologie avanzate, come l'agricoltura di precisione, l'intelligenza artificiale e l'automazione, consentono di ottimizzare i processi produttivi, migliorando l'efficienza e riducendo gli sprechi di materiali e risorse.

2.3 Gestione dei rifiuti, recupero e riutilizzo di sottoprodotti e residui di lavorazione e di materiali riciclati

L'ottimizzazione dei processi di produzione e l'adozione di tecnologie avanzate contribuisce anche a ridurre produzione di rifiuti e ad aumentare l'utilizzo di materiali riciclati.

L' automazione dei processi, ad esempio, consente un migliore utilizzo delle materie prime e una riduzione dei rifiuti prodotti. Inoltre, le imprese stanno sviluppando pratiche di economia circolare e stanno cercando soluzioni tecnologiche per riciclare o riconvertire i sottoprodotti o i residui di lavorazione.

Uno degli aspetti più importanti per l'implementazione dell'economia circolare nel sistema agroalimentare è la gestione e il recupero dei rifiuti organici. I rifiuti organici provenienti dagli alimenti, come gli scarti di produzione e i residui di lavorazione, possono essere trasformati in compost di alta qualità, che può essere utilizzato come fertilizzante naturale per le colture, riducendo l'uso di quelli chimici. Il compostaggio dei rifiuti organici non solo riduce la quantità di rifiuti destinati alla discarica, ma restituisce anche nutrienti al suolo, migliorando la sua fertilità.

Oltre alla gestione dei rifiuti organici, un'altra area di grande interesse nell'economia circolare nel sistema agroalimentare è lo sviluppo di impianti di biogas. Questi impianti trasformano i rifiuti organici, come gli scarti di produzione e i sottoprodotti agricoli, in biogas attraverso il processo di digestione anaerobica. Il biogas può essere utilizzato per generare energia rinnovabile, riducendo così la dipendenza da fonti non rinnovabili e le emissioni di gas serra.

Inoltre, le biomasse derivanti dalla produzione agricola e alimentare possono essere convertite in biocombustibili, come il biodiesel o l'etanolo, da utilizzare in sostituzione dei combustibili fossili in agricoltura, trasporti e industria.

Altre soluzioni innovative includono il recupero dei nutrienti dai reflui zootecnici attraverso processi di trattamento e separazione. Ciò permette di ottenere fertilizzanti a base di nutrienti, come azoto, fosforo e potassio, che possono essere riutilizzati nell'agricoltura. Inoltre, l'adozione di sistemi di gestione dell'acqua e dell'energia efficienti, come l'irrigazione a goccia o l'uso di energie rinnovabili per l'alimentazione elettrica delle strutture agroalimentari, contribuisce a una gestione circolare e sostenibile delle risorse.

Una delle sfide chiave nell'implementazione dell'economia circolare nel sistema agroalimentare è l'uso di materiali riciclati, che sta contribuendo a rivoluzionare la produzione di alimenti in modo sostenibile.

L'innovazione attraverso il riciclo sta aprendo nuove possibilità per un settore che dimostra un forte impegno nella realizzazione di prodotti alimentari più sostenibili.

Le imprese agroalimentari guardano al riciclo come a un'opportunità per limitare gli impatti ambientali. L'uso di materiali riciclati offre numerosi vantaggi, sia dal punto di vista ambientale che aziendale. L'adozione di contenitori, imballaggi e attrezzature riciclati contribuisce a ridurre la quantità di rifiuti destinati alle discariche e a mitigare l'uso eccessivo di risorse naturali.

L'utilizzo di materiali riciclati nei processi di produzione può comportare anche una significativa riduzione dei costi e una maggiore efficienza.

La gestione sostenibile degli imballaggi è un altro obiettivo chiave per la riduzione dei rifiuti. Le imprese agroalimentari stanno cercando soluzioni di imballaggio più sostenibili, come materiali biodegradabili o riciclabili, e riducendo l'uso eccessivo di plastica.

Questo cambiamento non è limitato solo ai materiali di imballaggio, ma si estende anche all'utilizzo di altre risorse, come l'acqua e l'energia, nell'agricoltura e nella produzione alimentare.

2.4 Efficienza energetica e utilizzo di fonti di energia rinnovabili

L'efficienza energetica rappresenta una priorità strategica per le imprese agroalimentari che cercano di coniugare la crescita e la sostenibilità. Le imprese che adottano approcci innovativi e implementano tecnologie energetiche avanzate possono ridurre il loro impatto ambientale e rafforzare la loro competitività.

Nel settore agricolo, l'adozione di sistemi di monitoraggio avanzati, insieme a soluzioni basate sull'utilizzo di fonti rinnovabili, sta riducendo l'uso di energia elettrica e il consumo di combustibili fossili, portando a un'impronta energetica più sostenibile.

L'automazione e la robotica stanno migliorando l'efficienza energetica delle linee di produzione. L'ottimizzazione dei processi, la gestione intelligente della temperatura e l'uso di tecnologie di recupero energetico contribuiscono a ridurre il consumo complessivo di energia. La gestione sostenibile delle risorse è un altro aspetto essenziale dell'efficienza energetica. Le imprese agroalimentari stanno adottando pratiche di riciclo e di gestione dei rifiuti per minimizzare l'impatto ambientale complessivo dei processi di produzione.

La digitalizzazione e l'analisi dei dati giocano un ruolo chiave nell'efficienza energetica. La raccolta e l'analisi dei dati consentono un migliore monitoraggio e un'ottimizzazione dei consumi energetici, consentendo alle imprese di identificare aree di miglioramento e prendere decisioni informate.

Un aspetto cruciale dell'efficienza energetica riguarda l'uso di tecnologie avanzate come l'IoT e l'IA per monitorare e ottimizzare il consumo energetico. I sensori IoT installati nelle attrezzature agricole e nelle strutture di produzione forniscono dati in tempo reale sulla domanda energetica, consentendo di apportare regolazioni immediate per minimizzare gli sprechi. L'IA, attraverso l'analisi dei dati storici e in tempo reale, può prevedere i picchi di consumo energetico e suggerire strategie per ridurli.

L'adozione di fonti energetiche rinnovabili sta emergendo come una soluzione fondamentale per le imprese agroalimentari per ridurre la loro impronta di carbonio. Impianti fotovoltaici, eolici o a biomassa possono non solo contribuire alla produzione di energia pulita, ma anche ridurre i costi energetici a lungo termine.

L'uso di fonti di energia rinnovabile può comportare significativi risparmi energetici per le imprese agroalimentari.

La ricerca e lo sviluppo nel settore delle tecnologie verdi stanno portando a soluzioni più efficienti dal punto di vista energetico. Ad esempio, le nuove tecnologie di refrigerazione e stoccaggio possono ridurre in modo significativo i consumi energetici, limitando così gli sprechi. L'efficienza energetica sta diventando un elemento distintivo per le imprese agroalimentari, contribuendo non solo a ridurre i costi operativi, ma anche a migliorare la loro reputazione ambientale e la responsabilità sociale.

3. Conclusioni

L'economia circolare e la bioeconomia offrono un approccio innovativo e sostenibile allo sviluppo del settore agroalimentare. Questi modelli possono contribuire non solo a ridurre l'impatto ambientale ma anche a creare nuove opportunità di lavoro e di crescita economica. [10]

Per promuovere l'economia circolare e la bioeconomia è necessario investire in ricerca e sviluppo e implementare nuove tecnologie e processi più efficienti e sostenibili.

La gestione circolare dei materiali e dell'energia nel settore agroalimentare richiede soluzioni innovative, collaborative e tecnologicamente avanzate. Il riciclo, il recupero delle risorse, l'efficienza energetica, l'adozione di tecnologie intelligenti sono elementi fondamentali per una gestione sostenibile delle risorse nel settore agroalimentare. Queste soluzioni contribuiscono a mitigare gli impatti ambientali e a promuovere produzioni agroalimentare più sostenibili e resilienti.

Oltre al riciclo e al recupero di materiali ed energia nel settore agroalimentare, è importante adottare un approccio integrato che coinvolga l'intera filiera, dalla produzione primaria al consumatore finale.

La transizione verso un'economia circolare richiede la collaborazione di tutti gli attori della filiera agroalimentare, nonché il sostegno di politiche pubbliche adeguate e di investimenti mirati. [11]

Le risorse disponibili nell'ambito del PSP 2023/2027 e del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza rappresentano una grande opportunità per promuovere la transizione ecologica dell'intero sistema agroalimentare e per introdurre le tecnologie avanzate legate a Industria 4.0.

Anche gli strumenti finanziari e di venture capital, come i fondi di investimento per l'economia circolare e la bioeconomia, possono sostenere lo sviluppo e l'implementazione di progetti e iniziative innovative nel settore agroalimentare. [12] [13]

L'integrazione dell'economia circolare e della bioeconomia nel settore agroalimentare rappresenta una risposta chiave alle sfide globali, tra cui la sicurezza alimentare e il cambiamento climatico, che oggi abbiamo di fronte

Bibliografia

- [1] Commissione Europea, "Una strategia Dal produttore al consumatore per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente", COM/2020/381 final;
- [2] Presidenza del Consiglio dei Ministri Comitato nazionale per la Biosicurezza, le Biotecnologie e le Scienze della Vita (CNBBSV), "Strategia italiana per la bioeconomia. Una nuova strategia per un'Italia sostenibile. BIT II", 2019;
- [3] **Commissione Europea**, "Relazione sullo stato di avanzamento della strategia dell'UE per la bioeconomia. Politica europea in materia di bioeconomia: situazione attuale e sviluppi futuri", COM(2022) 283 del 9.6.2022:
- [4] Ministero dello Sviluppo Economico, "Piano Nazionale Impresa 4.0", 2020;
- [5] Presidenza del Consiglio dei Ministri Comitato nazionale per la Biosicurezza, le Biotecnologie e le Scienze della Vita(CNBBSV), "Piano d'azione (2020-2025) per l'attuazione della strategia italiana per la bioeconomia BIT II", 2021;
- [6] Ministero dell'agricoltura, della sovranità alimentare e delle foreste, "Piano Strategico Nazionale della PAC 2023/2027", 2022;
- [7] **CREA**, "L'industria alimentare e delle bevande in Italia: una lettura nazionale e regionale attraverso i principali indicatori", 2023;
- [8] Cassa Depositi e Prestiti, "La sfida della sostenibilità per la filiera agroalimentare italiana", 2021;
- [9] **Università di Scienze gastronomiche di Pollenzo**, "Economia Circolare nel sistema agroalimentare Piemontese", 2022;
- [10] **European House Ambrosetti**, "La R(e)voluzione sostenibile della filiera agroalimentare italiana-Rapporto 2023", 2023;
- [11] **Ellen MacArthur Foundation**, "The big food redesign study: Regenerating nature with the circular economy", 2021;
- [12] Intesa Sanpaolo Direzione Studi e Ricerche, "La Bioeconomia in Europa 6° Rapporto", 2020;
- [13] **Boston Consulting Group**, "The biodiversity crisis is a business crisis. Chatham House, Food system impacts on biodiversity loss three levers for food system transformation in support of nature", 2021.

Circolar economy clusters: la soluzione digitale per quantificare il risparmio di CO_{2e} e degli impianti a biogas che utilizzano deiezioni bovine

Laura Brida, laura@eco8.it - Eco8 srl, Bolzano

Riassunto

Lo scopo del progetto è quello di costruire una rete standardizzata tra piccole imprese per la gestione ottimizzata dell'economia circolare, di seguito denominata "CLUSTER". Il cluster è composto da un impianto a biogas, diverse aziende agricole (che forniscono il materiale – principalmente letame e liquame bovino – e che utilizzano il digestato come fertilizzante o fanno entrambe le cose), un trasportatore ed eventualmente uno stoccaggio intermedio del digestato. I flussi di massa (e quindi la logistica tra gli attori del CLUSTER) sono gestiti da un software, che è poi in grado di calcolare le emissioni di CO e risparmiate dal CLUSTER. Alla base dei calcoli c'è uno studio certificato di CFP basato sia su dati scientifici che su dati empirici.

Summary

The purpose of the project is to build a standardized network among small businesses for optimized management of the circular economy, hereafter referred to as a "CLUSTER." The cluster consists of a biogas plant, several farms (which supply the material -primarily manure and cattle-and either use the digestate as fertilizer or do both), a transporter, and possibly intermediate storage of the digestate.

The mass flows (and thus the logistics between CLUSTER actors) are managed by software, which is also able to calculate the CO2e emissions saved by CLUSTER. Underlying the calculations is a CFP-certified study based on both scientific and empirical data.

1. Introduzione

Il progetto nasce da un'analisi delle cause riguardanti, da un lato, la mancata realizzazione in Alto Adige di un numero significativo di impianti a biogas per lo sfruttamento energetico delle deiezioni bovine e, dall'altro, le difficoltà gestionali degli impianti esistenti.

Come noto, il territorio altoatesino è caratterizzato da imprese agricole di piccole dimensioni, disseminate su un territorio montano. Questo significa che, per realizzare un impianto, è necessario avere un numero significativo di conferitori, disposti anche ad investire in un impianto che comunque ha costi elevati, sia di realizzazione che di gestione. Di qui la difficoltà di far nascere un numero di impianti che sia in grado di recuperare una percentuale significativa delle deiezioni prodotte dagli allevamenti presenti sul territorio.

D'altro canto, anche la gestione degli impianti esistenti è legata ad una difficile operatività logistica sia dei conferimenti verso l'impianto che del digestato in uscita dallo stesso; inoltre molte aziende agricole di piccole dimensioni non hanno la possibilità di stoccare questo materiale.

Con la collaborazione di un impianto esistente usato come modello di riferimento, sono quindi stati studiati tutti i flussi di massa in entrata e in uscita dall'impianto.

2. Relazione

2.1 L'idea del cluster

Dall'analisi di cui sopra è apparso chiaro che il primo obiettivo doveva essere migliorare le interazioni tra i diversi attori che ruotano intorno ad un impianto biogas (che processa deiezioni bovine) ottimizzando innanzitutto la logistica e misurando l'effettivo miglioramento ambientale raggiunto dall'intero sistema in termini di CO₂e risparmiata. L'insieme dei diversi soggetti viene denominata "cluster" (ovvero "circolar economy cluster") al fine di sottolineare l'idea di cooperazione tra gli stessi per realizzare un ciclo completo di gestione dell'economia circolare, valutando gli impatti positivi in termini di CO₂e dell'intero sistema attraverso uno strumento accurato e scientifico come la carbon footprint.

2.2 Carbon footprint

Lo strumento per fare i calcoli della CO₂e risparmiata è dunque quello di uno studio di carbon footprint, ovvero dell'intero ciclo di ciclo di vita legato al cluster, più specificatamente finalizzato a quantificare il relativo beneficio in termini di emissioni di GHG, rispetto ad una situazione con il letame/liquame lasciato in loco, con successiva dispersione sul terreno. Lo studio è finalizzato soltanto alla valutazione del risparmio in termini CO₂e, tralasciando altri importantissimi miglioramenti in termini di emissioni odorigene e contaminazione del suolo (con conseguente miglioramento della biodiversità) che rappresentano comunque una parte molto importante degli impatti ambientali positivi di un impianto a biogas.

La norma di riferimento considerata è la UNI EN ISO 14067:2018 dove i confini di sistema sono del tipo cradle-to-gate, ovvero dall'estrazione delle materie prime (ovvero lo stoccaggio del letame e liquame presso le aziende agricole) fino al fine vita del "servizio" (ovvero lo stoccaggio del digestato/altri coprodotti o la consegna per l'utilizzo dello stesso alle aziende agricole), sia nei confronti delle aziende agricole conferitrici che di altre aziende agricole (tipicamente dei coltivatori di frutta o viticoltori) che utilizzano il digestato come fertilizzante. Gli impatti derivanti dall'eventuale movimentazione del letame/liquame fino allo stoccaggio presso l'azienda agricola (nei flussi di massa in entrata) o del digestato dallo stoccaggio presso l'azienda agricola fino al luogo di spargimento (nei flussi di massa in uscita) sono fuori dai confini di sistema.

Sono fuori dal campo di applicazione dello studio anche gli effetti sul terreno in termini di carbonio tra le due situazioni (in presenza / assenza dell'impianto a biogas).

Per questo tipo di studio di carbon footprint non esistono prassi di riferimento cui appoggiarsi ed è stato quindi necessario identificare internamente degli standard.

Per realizzare lo studio è stato preso come modello di riferimento un impianto esistente sul territorio altoatesino.

Il modello di calcolo della carbon footprint si è concentrato su tre grandi aree:

- CO₂e in fase di stoccaggio (con una serie di difficoltà legate alla bibliografia esistente vedi
 2.2.1)
- Impatto CO₂e della logistica (letame, liquame e digestato) gestita direttamente dall'impianto
- Bilancio CO₂e dell'impianto biogas con i tutti flussi di materiali/energia in entrata e in uscita L'unità funzionale di riferimento è la sostanza secca, unico "denominatore comune" tra il materiale conferito e quello in uscita.

Lo studio di carbon footprint verrà certificato da un ente di certificazione di terza parte prima dell'utilizzo "ufficiale" del software di calcolo.

2.2.1 Emissioni di CO2e in fase di stoccaggio

Ai fini dello studio di carbon footprint il primo passo è stato quello di valutare l'impatto dello stoccaggio di letame e liquame in termini di GHG, a seconda delle diverse condizioni presenti nelle diverse aziende agricole.

Da una ricerca bibliografica, esistono un numero limitato di studi sull'andamento delle emissioni di CH₄ (GWP 72) in funzione della durata di stoccaggio e della temperatura, alcuni più limitati ad una temperatura specifica [1], altri più completi con diverse curve di andamento a seconda della temperatura [2].

Riguardo alle emissioni di N₂O (GWP 289), la quantificazione può variare in modo significativo, in particolare per il liquame, a seguito di una serie di fattori che sono al di fuori dello studio in oggetto [3].

Si è quindi deciso di procedere in modo diverso. È stata identificata un'"azienda tipo" (come dimensioni in termini di UBA e tipo di allevamento) che fosse rappresentativa del campione di riferimento dei conferitori dell'impianto biogas utilizzato come modello per lo studio di CFP. Su una serie di campioni di effluenti zootecnici e sul digestato sono state poi condotte delle analisi di caratterizzazione chimico-fisica, dei test di potenziale biochimico metanigeno (BMP) e delle analisi del potenziale metanigeno residuo (RBP). In base a metodologie proposte da IPCC, tali dati sperimentali sono stati poi elaborati incrociandoli anche con quelli da studi di letteratura, stabilendo un dato di CO e per lo stoccaggio.

2.3 Software di calcolo

Sia la quantificazione dei flussi di massa tra i diversi attori del cluster che il relativo modello di calcolo della carbon footprint sono talmente complessi che devono essere necessariamente digitalizzati. Si pensi soltanto che nel cluster modello usato sia per la carbon footprint che per la creazione del software sono presenti più di cento attori.

La digitalizzazione ha chiaramente anche l'evidente vantaggio di popolare automaticamente il sistema di calcolo della CO, e e di tracciarne i calcoli effettuati.

Il software di gestione del cluster ha dunque i seguenti principali obiettivi:

- Ottimizzare la logistica dei diversi attori basandosi sulle capacità di stoccaggio dei diversi materiali, pianificando le movimentazioni in modo da evitare tratte vuote
- Tracciare i flussi di massa e la CO_se che ne derivano
- Calcolare la CO₂e complessiva legata al cluster secondo il modello di calcolo alla base dello studio di carbon footprint

Per l'ottimizzazione logistica il software dispone di due interfacce "mobile" per i contadini (di cui una specifica per i contadini che gestiscono uno stoccaggio comune di digestato), un'interfaccia "mobile" utilizzata per i trasportatori ed un'ulteriore interfaccia operativa per l'impianto legata alla gestione dei trasporti e all'accettazione.

L'impianto a biogas dispone poi di un'altra interfaccia per la gestione degli ulteriori dati di input e output relativi all'impianto stesso che possono essere di supporto all'impianto stesso per monitorare gli andamenti.

Tutti i dati raccolti servono poi a calcolare gli impatti positivi e negativi in termini di CO₂e secondo il modello di calcolo dello studio di carbon footprint, una sorta di "bilancio" dell'intero cluster. I dati sono quindi processati secondo un modello rigoroso e tracciabile nei confronti di un ente di certificazione terzo. Il software è in grado di calcolare il bilancio di CO₂e sia in termini assoluti per l'intero cluster che in base all'unità funzionale alla base della carbon footprint, riuscendo quindi poi a suddividere i calcoli per il singolo conferitore.

Nonostante ciò, il software rappresenta uno strumento di facile utilizzo per gli utenti, con delle interfacce molto "user friendly" sia per gli attori in campo (quindi una versione "mobile") che per l'impianto (quindi una versione su PC).

Di seguito una simulazione dell'interfaccia principale del software per l'impianto (fig. 1):

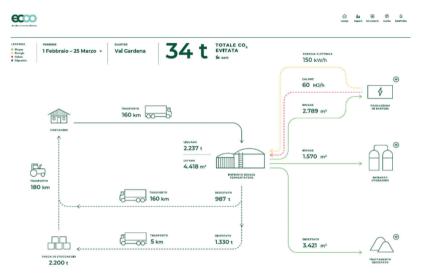


Fig. 1 - Simulazione interfaccia software

Al momento della pubblicazione del presente articolo il software si trova in fase di test nell'impianto modello sopra descritto.

Il software è evidentemente in prima battuta finalizzato ad ottimizzare gli impianti esistenti sia dal punto di vista logistico che per il monitoraggio dei dati di gestione dell'impianto a biogas. Esso vuole sostanzialmente essere un supporto gestionale per l'impianto e per tutti i diversi attori coinvolti, automatizzandone i flussi.

Il software può essere però anche utilizzato come strumento di simulazione per la creazione di nuovi impianti valutando il risparmio di CO₂e di un potenziale cluster e calcolandone il "break even point" in termini di CO₂e. Esso può quindi divenire uno strumento di pianificazione rapido, una volta che i dati sui potenziali partecipanti (conferitori ed utilizzatori) sono disponibili (vedi punto 2.4).

2.4 Ulteriori obiettivi del progetto

Come anticipato, il software che gestisce il cluster può divenire un importante strumento di pianificazione per la progettazione di nuovi impianti, in particolare per valutare ex ante l'impatto in termini di CO₂e della logistica legata ai conferimenti e al ritiro del digestato.

Una volta conclusa la fase di test nell'impianto utilizzato come modello, si procederà, parallelamente all'installazione presso ulteriori impianti esistenti, alla realizzazione di un nuovo microimpianto a biogas secondo la logica del cluster finora descritta. Si ritiene infatti che in alcune aree montane si tratti della soluzione più adatta al fine di ottimizzare il più possibile la logistica.

Tale impianto pilota avrà lo scopo di raccogliere dati operativi dal punto tecnico ed economico per gli impianti successivi, dato che al momento tale tipologia di impianti è stata realizzata sostanzialmente in singole aziende agricole di grandi dimensioni.

In particolare dal punto di vista tecnico, si punta alla minimizzazione del dimensionamento degli stoccaggi di liquame e di digestato a monte e a valle del fermentatore grazie all'ottimizzazione logistica resa possibile dal software. Questo permette di ridurre al minimo la superficie dell'impianto, requisito ovviamente molto importante.

Avendo questa tipologia di impianti tempi di realizzazione molto brevi e anche adempimenti burocratici relativamente semplici, questi impianti potrebbero rappresentare la soluzione più adatta per determinate aree geografiche montane caratterizzate da allevatori di piccole dimensioni ed essere anche utilizzati nell'ambito di comunità energetiche.

La creazione dei presupposti per facilitare la costruzione di nuovi impianti a biogas gestiti come cluster è un altro degli altri obiettivi del progetto. Il più importante di questi è sicuramente l'individuazione di una soluzione tecnica flessibile per lo stoccaggio del digestato. Molte aziende di piccole dimensioni non dispongono infatti di una vasca (o altra soluzione costruttiva) dedicata a tale materiale, rendendo di fatto difficoltosa la logistica dell'impianto in certi periodi dell'anno. La sfida è soprattutto legata alle temperature invernali rigide; al momento è allo studio un prototipo che dovrà essere testato durante il prossimo inverno, sempre per potere poi sfruttare i dati raccolti per i prossimi cluster.

Ultimo obiettivo del progetto, ma non di certo il meno importante, è quello di avviare degli accordi territoriali con gli enti pubblici per fungere da "facilitatore" per la realizzazione di nuovi impianti a biogas, in particolare di piccole dimensioni come sopra descritto.

A fronte di obiettivi misurabili di riduzione delle emissioni di GHG entro determinate scadenze (vedi ad es. il piano per il clima 2040 della Provincia di Bolzano), il cluster può essere uno strumento molto importante di pianificazione territoriale (e di realizzazione degli obiettivi), in quanto fornisce dati basati su un sistema di calcolo rigoroso e certificato.

Un eventuale accordo territoriale può prevedere, a fronte della realizzazione di una serie di impianti di cui si possono simulare i miglioramenti in termini di GHG, ad es. non soltanto finanziamenti in fase di realizzazione/gestione degli impianti, ma anche semplificazioni burocratiche, sia per gli impianti che per gli stoccaggi di digestato, approvandone ad es. in modo cumulativo l'impatto paesaggistico.

Si potrebbero così raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni di GHG in modo tempestivo e dimostrabile, con risorse finanziarie gestibili e soprattutto in modo sostenibile, supportando le aziende agricole di piccole dimensioni.

Indirettamente, questo sistema incoraggerebbe anche un maggior numero di aziende agricole a fornire il proprio materiale agli impianti esistenti, aumentandone così la produttività e la redditività.

3. Conclusioni

Questo metodo di creazione di cluster vuole essere innanzitutto un supporto di tipo gestionale a soluzioni tecniche già assodate da tempo, dando rigorosa misurabilità ai miglioramenti in termini di CO₂e.

Questo metodo vuole però anche e soprattutto fungere da "facilitatore" per la realizzazione di nuovi impianti in tempi brevi al fine di concretizzare il prima possibile gli obiettivi dello sviluppo sostenibile.

I vantaggi di questi impianti dal punto di vista ambientale sono evidenti, non solo in termini di riduzione dei gas serra, ma anche di riduzione di emissioni odorigene e della contaminazione del suolo e delle falde acquifere.

Questi vantaggi ambientali sono assolutamente coniugabili con vantaggi economici per le piccole aziende agricole che devono poter considerare il letame e i liquami come una risorsa economica che tanto più è vantaggiosa quanto è meglio gestita, nel pieno di rispetto delle logiche dello sviluppo sostenibile. In un territorio montano come quello altoatesino questo può anche rappresentare un piccolo tassello per garantire la sopravvivenza dell'agricoltura di montagna.

Bibliografia

- [1] Adghim M, Abdallah M, Saad S, Shanableh A, Sartaj M. Assessment of the biochemical methane potential of mono- and co-digested dairy farm wastes. Waste Management & Research. 2020;38(1):88-99.
- [2] Hilgert, J.E.; Amon, B.; Amon, T.; Belik, V.; Dragoni, F.; Ammon, C.; Cárdenas, A.; Petersen, S.O.; Herrmann, C. Methane Emissions from Livestock Slurry: Effects of Storage Temperature and Changes in Chemical Composition. Sustainability 2022, 14, 9934.
- [3] Esteban Rivera, J.; Chará J.: CH4 and N2O Emissions from cattle excreta: a review of main drivers and mitigation strategies grazing systems. Front. Sustain Food Syst., 2021, 5

Misurare la sostenibilità: il valore di un indice di Circolarità (NCI) di prodotto

<u>Ugo Pannuti</u>, <u>pannuti@icmq.org</u>, Chiara Maran, Michele Paleari – ICMQ S.p.A. Società
Benefit Milano

Riassunto

La messa a punto di un nuovo indice di circolarità (NCI) di prodotto costituisce una rilevante novità sia per il riconoscimento a livello europeo che per la sua applicazione collegata anche a un percorso di verifica secondo uno schema terzo e indipendente, primo al mondo. In questo paper si evidenzieranno le caratteristiche peculiari del NCI e del suo calcolo, nonché quelle dello Schema di Verifica. I cardini del progetto sono: l'analisi del ciclo di vita, un approccio iterativo, la trasparenza, la completezza e la priorità di un metodo scientifico. L'NCI analizza la natura delle risorse materiali, energetiche, idriche e il modello di gestione dei rifiuti che sono coinvolti nel ciclo di vita di un prodotto, fornendo un dato in grado di consentire una comparabilità tra prodotti, mediante uno Schema di Verifica sotto accreditamento, in conformità agli Standard internazionali sulla verifica delle informazioni ambientali.

Summary

The development of a new product circularity index (NCI) is an important news both for recognition at European level and also for its application linked to a verification process according to an independent third party, the first in the world! This paper will highlight the peculiar characteristics of the NCI and its calculation, as well as those of the Verification Scheme. The cornerstones of the project are the analysis of the life cycle, an iterative approach, transparency, completeness and the priority of a scientific approach. The NCI analyzes the nature of the material, energy, water and waste management model resources that are involved in the life cycle of a product, providing data capable of allowing comparability between products, through an Accredited Verification Scheme, in accordance with International Standards on Verification of Environmental Information.

1. Introduzione

Uno degli aspetti di maggiore rilevanza, sia sul piano della concretezza applicativa che del valore della sostenibilità dei prodotti industriali, riguarda la misurabilità, ovvero l'importanza di disporre e di dotarsi di strumenti trasparenti, oggettivi, affidabili e comparabili. Ciò vale soprattutto rispetto ad alcuni obiettivi precisi e considerati prioritari come, ad esempio, il livello di circolarità. Il nuovo indice di circolarità di prodotto (d'ora in avanti NCI), sviluppato dopo uno studio di tre anni, sulla base di una collaborazione tra ENEL X [1] e ICMQ S.p.A. [2] rappresenta un punto di svolta nell'ambito della verifica delle dichiarazioni ambientali, in quanto costituisce un'importante novità, non esistendo sistemi sotto accreditamento basati sul medesimo principio. L'NCI si inserisce nel quadro metodologico dell'analisi del ciclo di vita, pur differenziandosi da essa e assumendo un valore autonomo, ma allo stesso tempo presentando interessanti possibilità di interazione. Il percorso che ha portato oggi all'applicazione di NCI è iniziato prima con alcuni casi pilota in Italia e poi proseguito nell'ambito di Eco Platform [3], dove esso è stato selezionato – insieme all'Indice della Mac Arthur Foun-

dation [4] – tra oltre 50 indici di circolarità di prodotto; lo scopo dell'attività di Eco Platform è quello di fornire un metodo riconosciuto che aiuti le aziende manifatturiere a valutare in quale misura i loro prodotti siano allineati ai principi dell'economia circolare, integrando le informazioni di circolarità verificabili all'interno delle EPD di prodotto.

2. Caratteristiche principali

Il Nuovo Indice di Circolarità (NCI) è stato sviluppato allo scopo di misurare la circolarità di prodotto, espressa secondo le componenti materica, energetica, del ciclo dell'acqua e della gestione di rifiuti. L'obiettivo di misurabilità ha portato alla definizione di un indice prettamente quantitativo, il cui calcolo non può che essere basato sulla raccolta di dati ed informazioni oggettive, analizzando il processo industriale che genera il prodotto in valutazione. La quasi totalità degli indici di circolarità sviluppati nel corso degli ultimi anni sono fondati su analisi qualitative o quali/quantitative, spesso non radicate sulla natura propria del prodotto. Al contrario, l'obiettivo prefissato per lo sviluppo di questo nuovo indice ha visto la definizione di una metodologia replicabile univocamente e che escludesse a priori ogni giudizio di valore in merito alle pratiche produttive. La definizione dell'NCI quale parametro qualitativo misurabile sottende anche lo scopo di poterlo in futuro inserire tra gli indicatori propri di una Environmental Product Declaration (EPD), con la finalità di includere la misura della circolarità di prodotto tra gli aspetti ambientali che caratterizzano un bene di consumo. Per tali ragioni, l'NCI è stato sviluppato nel rispetto del quadro metodologico alla base dell'analisi del ciclo di vita di prodotto, ovvero del Life Cycle Assessment (LCA), come definito dalle norme ISO 14040:2006/Amd 1:2020 [5]e ISO 14044:2006/Amd 2:2020 [6]. Nel contesto di un approccio metodologico fondato sull'LCA, l'NCI è stato sviluppato perché possa essere applicato ai prodotti, valutandoli secondo la loro funzione e lungo il proprio ciclo di vita. I prodotti valutabili devono, quindi, essere identificabili come oggetti autonomi, per i quali è individuabile una funzione, secondo le definizioni riportate a seguire:

- Oggetto: si intende un materiale o un dispositivo per il quale è definibile una dimensione fisica, escludendo ciò che ricade nell'ambito di servizi o lavori;
- Autonomia: i prodotti a cui si applica l'NCI sono da intendersi autonomi, ovvero in grado di presentare proprie caratteristiche prestazionali, escludendo gli elementi che per natura sono inseriti in un sistema complesso;
- <u>Funzione</u>: i prodotti a cui si applica l'NCI devono poter assolvere ad una funzione chiaramente identificabile.

In questo contesto, l'NCI non può essere applicato ai servizi, ai lavori, ai sistemi complessi, agli oggetti per i quali non sia identificabile univocamente una funzione, ai prodotti agricoli e ai combustibili, oltre ai prodotti comunemente identificati come non etici. Il concetto di ciclo di vita è esplicitato attraverso la valutazione dei contributi materici, energetici, di acqua e dei rifiuti generati dal prodotto in tutte le fasi, secondo l'approccio "from cradle to grave", comprendendo la produzione, la commercializzazione e l'installazione, l'uso e la manutenzione, la disinstallazione e la gestione del fine vita, inclusa la possibilità di mettere in atto azioni che, attraverso un processo di remanufacturing, consentano l'estensione della vita utile del prodotto. Sebbene una organizzazione possa svolgere ruoli diversi che interagiscono solo parzialmente con la vita del prodotto, ovvero quelli di fabbricante, commerciante, utilizzatore, manutentore, remanufacturer, la valutazione è estesa a tutte le fasi del ciclo di vita, benché si possa tenere in considerazione un minore livello di approfondimento nell'analisi delle fasi non controllate direttamente dall'organizzazione. L'applicazione dell'NCI vede quindi la definizione del prodotto, secondo la propria unità funzionale, così da consentire la comparazione dei risultati, nel caso in cui i prodotti a confronto siano destinati a svolgere la medesima funzione e le valutazioni comprendano le medesime fasi del ciclo di vita. Il quadro normativo

di riferimento, comprende di conseguenza anche la EN15804:2012+A2:2019 [7] quale guida nella definizione delle fasi del ciclo di vita e nell'individuazione dell'Unità Funzionale (UF). In questo contesto, nella valutazione di prodotti per i quali siano disponibili specifiche Product Category Rules (PCR) finalizzate alla elaborazione di EPD, esse costituiscono un riferimento nell'individuazione della funzione di prodotto e dell'unità a cui riferire l'analisi. La metodologia di calcolo dell'NCI valuta parallelamente i quattro contributi citati ed è fondata sull'analisi dei flussi di materia, energia, acqua e rifiuti che interessano il prodotto, con la suddivisione del ciclo di vita nelle sue fasi: l'indice è dato dal rapporto tra i contributi identificati come circolari (risorse rinnovabili, riutilizzate, riciclate) e il quantitativo totale delle risorse coinvolte in una unità di prodotto, secondo l'UF. La componente materica dell'NCI considera la frazione circolare di materia, ovvero quella che deriva da fonte rinnovabile, quella riciclata e quella riutilizzata; nello specifico vengono analizzati tutti gli input al sistema analizzato, ovvero le materie prime e i componenti, compresi i loro packaging, gli ausiliari di produzione, il packaging del prodotto finito, i consumabili utilizzati nella fase d'uso e quelli nella fase di manutenzione, le materie prime e le componenti per il remanufacturing. La componente energetica dell'indice prende in considerazione ogni fonte di energia utilizzata nelle diverse fasi del ciclo di vita, quali elettrica e termica in produzione e in uso, energia elettrica di installazione, manutenzione, disinstallazione e remanufacturing, carburante utilizzato per tutti i trasporti e la movimentazione. La componente circolare dell'energia elettrica è data dalla frazione di energia prodotta da fonte rinnovabile presente nel mix energetico del Paese in cui il prodotto viene realizzato e/o utilizzato; l'energia termica viene considerata circolare se viene utilizzato un combustibile rinnovabile (es. legno, biodiesel, ecc..); infine, per i trasporti viene valorizzata la componente rinnovabile del carburante consumato. La componente acqua dell'NCI considera la frazione di acqua derivante da riciclo, in relazione alla quantità totale di acqua consumata nelle fasi di produzione e uso. Infine, l'NCI relativo ai rifiuti prende in considerazione sia quanto generato dal ciclo produttivo e dalle manutenzioni eseguite sul prodotto durante la vita utile, sia quanto dovuto al fine vita e al remanufacturing: sono considerati circolari i flussi di rifiuti avviati a riciclo di materia e di energia e quelli avviati a riutilizzo.

A seguire, si riporta a titolo di esempio, la formula che identifica il contributo materico all'NCI.

$$\textit{NCI dei materiali} = \frac{\textit{Materiali Circolari}}{\textit{Materiali Circolari} + \textit{Materiali Non Circolari}}$$

Dove:

Materiali Circolari = Materiali vergini rinnovabili + Materiali riciclati + Materiali riutilizzati;

Materiali Non-Circolari = Materiali vergini non-rinnovabili.

I materiali di scarto recuperati all'interno dello stesso processo produttivo non devono essere conteggiati come "materiali circolari". Analogamente, con la medesima formula, si possono calcolare i contributi dell'energia, dell'acqua e dei rifiuti. Le formule portano quindi al calcolo dei quattro risultati distinti di cui si compone l'NCI. La scelta di proporre un indice separato in quattro voci è esito della volontà di non introdurre alcun giudizio di valore, da esplicitarsi in un sistema di pesatura per la combinazione dei quattro contributi, ma di garantire eguale importanza e rappresentatività a ciascuno degli elementi coinvolti nella vita utile del prodotto. L'assenza di un sistema di pesatura rende l'indice applicabile anche a prodotti e processi industriali dalle caratteristiche fortemente distinte, evitando di favorire un'area a scapito di altre.

3. Il tool di calcolo

Il calcolo dell'NCI prevede la raccolta di dati quantitativi relativi a materiali e componenti del prodotto in oggetto, ai trasporti, ai consumi di energia e di acqua, alla gestione dei rifiuti, alle modalità di uso e manutenzione e agli scenari di fine vita. Allo scopo di rendere la conduzione del calcolo meno soggetta ad errori e meno onerosa in termini di tempi e competenze necessarie, è stato elaborato uno specifico strumento di lavoro, gestito attraverso un file Excel, dove non possono essere apportate modifiche agli algoritmi di calcolo. Come spiegato nel precedente paragrafo, tutte le informazioni quantitative vengono assunte con riferimento al prodotto specifico, al suo processo produttivo, alle caratteristiche di uso, rapportando ogni valore all'unità funzionale scelta. Il modello di calcolo è suddiviso in fogli che rappresentano i moduli del ciclo di vita o i loro sotto-moduli, con riferimento alla norma EN15804:2012+A2:2019:

- A1 Materie prime e loro packaging;
- A2 Trasporto delle materie prime al sito di produzione;
- A3 Processo di produzione, inclusi i materiali ausiliari e il packaging del prodotto finito;
- A4 Trasporto del prodotto finito al sito di installazione;
- A5 Installazione:
- B1 Consumi operativi in fase di uso, inclusi i materiali consumabili;
- B2 Manutenzione, inclusi i componenti, i trasporti e i consumi di energia ed acqua;
- C1 Disinstallazione del prodotto a fine vita utile;
- C2 Trasporto del prodotto a fine vita;
- C3 Gestione del prodotto a fine vita, incluse le possibilità di remanufacturing.

Per validare lo strumento implementato e per verificare l'applicabilità dell'NCI quale metodologia per il calcolo della circolarità di prodotto, sono stati selezionati 4 casi pilota italiani e 1 europeo (in accordo con il gruppo di lavoro di Eco Platform) a cui far applicare l'NCI. Oltre a confermare la correttezza del modello di calcolo, tali test hanno permesso di misurare quantitativamente la circolarità dei prodotti analizzati.

4. Differenze con EPD

Nonostante ci siano alcuni punti in comune (ad esempio il rispetto del quadro metodologico definito dalle norme ISO 14040 e ISO 14044), ci sono delle evidenti differenze tra l'NCI e l'EPD. Innanzitutto, è bene specificare che l'NCI analizza la natura delle risorse materiali, energetiche e di acqua e il modello di gestione del rifiuto che sono coinvolti nel ciclo di vita del prodotto; l'EPD al contrario analizza un panel di indicatori molto più esteso, la maggior parte dei quali coinvolgono dei metodi di caratterizzazione per legare i dati di inventario con gli effetti ambientali potenzialmente generati. L'NCI rimane così uno strumento differente e distinto dall'EPD ma egualmente fondato sull'analisi di dati primari legati al prodotto e al suo processo produttivo, raccolti a formare un inventario simile al Life Cycle Inventory proprio di uno studio LCA, necessario allo sviluppo di un'EPD. Nella Tab. 1, di seguito riportata, vengono messi a confronto l'NCI e l'EPD, evidenziando i punti in comune e le differenze.

	NCI	EPD
Definizione	Indice che rappresenta il livello di circolarità di un prodotto analizzando e quantificando i flussi di materiali, energia, acqua e rifiuti compresi in tutte le fasi del ciclo di vita, valorizzando la riduzione del consumo di risorse, l'utilizzo di materiali provenienti dal riuso e filiere del riciclo e fornitura di energia da fonti rinnovabili.	Dichiarazione ambientale che fornisce informazioni ambientali, quantificate attraverso categorie di impatto predeterminate, riguardanti il ciclo di vita di un prodotto e consente il confronto tra prodotti che soddisfano la stessa funzione, come definito dalla norma ISO 14025.
Norme	No.	ISO 14040, ISO 14044, ISO 14025, PCR.

Segue

	NCI	EPD		
Principi LCA	Prospettiva del ciclo di vita, attenzione focalizzata sull'ambiente, approccio relativo e UF, approccio iterativo, trasparenza, completezza, priorità dell'approccio scientifico.			
Fasi LCA	Tutte le fasi, con particolare attenzione a ciò che è sotto la responsabilità del titolare del certificato.			
Flussi valutati	Materiali: vergine, riciclato, recuperato. Energia: non rinnovabile, rinnovabile. Acqua: pozzo, acquedotto, riciclata. Rifiuti solidi: smaltiti, riciclati, recuperati.	Materiali: natura specifica, processi di estrazione e trasformazione. Energia: non rinnovabile e rinnovabile, con distinzione della fonte specifica. Acqua: con distinzione della sorgente. Rifiuti solidi: specificità e processi di gestione e trasformazione. Emissioni nell'atmosfera: natura specifica. Emissioni nell'acqua: natura specifica.		
Input	Dati primari relativi ai processi controllati dal titolare del certificato; informazioni generali sulle fasi precedenti e successive (da fornitore, terza parte, categoria).	Dati specifici per i processi gestiti dal costruttore (core) e dati generici forniti dalle banche dati (a monte e a valle).		
Output	Il NCI analizza la natura delle risorse materiali, energetiche e idriche e il modello di gestione dei rifiuti che sono coinvolti nel ciclo di vita del prodotto come: percentuale di risorse vergini e circolari.	Categorie di impatto specifiche. L'EPD analizza una lista molto più ampia di indicatori, la maggior parte dei quali coinvolge metodi di caratterizzazione per collegare i dati di inventario con effetti ambientali potenzialmente generati.		

Tab. 1 - Confronto tra NCI ed EPD

5. L'accreditabilità dello Schema

5.1 Principi generali

Affinché il mercato potesse recepire l'Indice di Circolarità con la giusta garanzia, è stato sviluppato un apposito Schema di Certificazione (Programma) denominato "Circular Certification Product" [8] per il quale è stata richiesta ad Accredia [9] l'accreditabilità. Ciò significa che il Programma è aperto agli Organismi di Valutazione perché possano accreditarsi e performare le verifiche a chi volesse farne richiesta. L'aspetto dell'accreditabilità non è da sottovalutare. Il Programma, a memoria degli scriventi, è l'unico al mondo ad essere aperto agli Organismi di Valutazione sotto una procedura ferrea che dà garanzia al mercato di competenza, indipendenza e imparzialità. Sono queste le caratteristiche peculiari che contraddistinguono uno schema di certificazione da un altro. Il Programma contiene, infatti, alcuni requisiti che fanno sì che il valore dell'Indice di circolarità calcolato e successivamente verificato, sia effettivamente reale. Infatti, il Programma è stato impostato in modo da essere conforme ai requisiti delle norme UNI CEI EN ISO/IEC 17029 [10] e ISO 14065 [11], che introducono nel panorama internazionale due aspetti molto importanti: il livello di garanzia e la soglia di rilevanza.

Tali aspetti permettono allo user finale di riconoscere la trasparenza dello Schema e la sua validità.

Il livello di garanzia, definito come esclusivamente "ragionevole" permette di asserire che sulla base delle procedure svolte, del campionamento eseguito, della procedura di auto-controllo e delle evidenze acquisite, l'Asserzione preparata dall'Organizzazione in conformità al Programma è stata redatta correttamente in tutti gli aspetti significativi.

La soglia di rilevanza ammessa, nel calcolo degli Indici di circolarità, è dell'1% sul risultato finale.

Qualora questo valore venisse superato, l'output rappresenterebbe una Non conformità. In particolare, esempi di Non Conformità correlati alla convalida dei dati acquisiti sono:

- l'assenza di documentazione di supporto;
- la mancata o errata dichiarazione di input materici o energetici;
- errori di compilazione nel Tool;
- la mancanza di una procedura di autocontrollo;
- errori sopra la soglia di rilevanza.

I requisiti suddetti fanno sì che le verifiche dell'Indice di Circolarità debbano essere condotte da personale dell'Organismo di Valutazione altamente competente e di cui si sia valutata l'imparzialità e l'indipendenza, mediante l'accertamento ad esempio della non familiarità con l'azienda da valutare o l'assenza di rapporti economici. I valutatori sono soggetti a formazione continua sulle modalità di valutazione, garantendo pertanto la corretta applicazione del Programma, per un approccio omogeneo alla interpretazione delle diverse situazioni che si incontrano.

5.2 Modalità di verifica

L'Organismo di Valutazione deve condurre le attività in conformità al piano di verifica e tenendo in considerazione il seguente processo:

- Esame documentale del tool e della Procedura di auto-controllo;
- visita presso la sede dell'Organizzazione o sito di raccolta dei dati, al fine di verificare l'efficacia nell'implementazione dei sistemi di controllo sui dati di input. La visita si svolge fisicamente presso la sede dell'Organizzazione o con metodologia che garantisca la stessa efficacia (es.: con tecnologia CAAT Computer Assisted Auditing Techniques).

Durante la verifica vengono svolte le seguenti attività:

- raccolta di sufficienti evidenze oggettive assicurandone la relativa tracciabilità;
- identificazione di inesattezze (nell'ambito della soglia di rilevanza);
- convalida dei dati acquisiti. La fase di convalida ha lo scopo di verificare che i dati che sono stati adoperati nella procedura di calcolo del NCI, siano veritieri e documentati. Per dimostrare la correttezza del calcolo del NCI del prodotto, devono essere verificati i dati di input al Tool di calcolo.

Esempi di evidenze a supporto del calcolo del contenuto di riciclato sono:

- Certificazione di prodotto accreditato;
- Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD) pubblicata presso un Program Operator (ad esempio EPDItaly [12]);
- Documentazione attestante il contenuto di materiale riciclato e la sua provenienza da un soggetto autorizzato al riciclo di rifiuti o alla preparazione al suo riutilizzo.

Al termine delle attività, viene emesso una Dichiarazione di Verifica positiva o negativa. Conclusioni

La vera novità però consiste nel fatto che tutti questi calcoli vengono effettuati secondo fasi del ciclo di vita codificate a livello internazionale: gli stessi che servono, ad esempio, per calcolare la dichiarazione ambientale di prodotto. Anzi, è proprio nel dialogo tra indici la forza del lavoro svolto. Ogni organizzazione può utilizzare gli schemi per misurare sé stessa e adottare comportamenti virtuosi facilmente misurabili tramite le metriche utilizzate dal programma "Circular certification". Allo stesso modo la metrica può essere utilizzata per valutare i propri fornitori, nella consapevolezza che l'adozione della circolarità si rafforza quando espressa da tutta la catena del valore e costituisce un criterio di scelta delle partnership economiche di lungo periodo. Attraverso questi strumenti un'azienda è in grado di misurare le prestazioni

e l'efficacia del prodotto fin dall'inizio della stessa fase di progettazione, affrontando quindi sia gli aspetti ambientali che quelli economici, in linea con le ultime direttive europee in tema ecodesign. Inoltre, utilizzando questi indicatori, cioè, seguendo lo stesso programma, anche valutatori diversi possono ottenere risultati comuni. Gli schemi di tipo volontario anticipano i principali strumenti normativi internazionali in via di sviluppo, consentendo alle organizzazioni virtuose di assumere sempre più consapevolezza dell'uso integrato delle risorse, focalizzandosi sul loro efficientamento e sulla riduzione dell'impatto.

Bibliografia

- [1] ENEL X, Viale di Tor di Quinto 45/47 00191 Roma www.enelx.com;
- [2] ICMQ S.p.A. Società Benefit, Via Gaetano De Castillia, 10 20124 Milano www.icmq.it;
- [3] **Eco Platform AISBL**, Avenue Kersbeek, 308 1180 Bruxelles https://www.eco-platform.org/home.html;
- [4] Mac Arthur Foudation, 140 S. Dearborn Street Chicago, IL 60603-5285 https://www.macfound.org/;
- [5] **ISO 14040:2006/Amd 1:2020** "Environmental management Life cycle assessment Principles and framework Amendment 1";
- [6] **ISO 14044:2006/Amd 2:2020** "Environmental management Life cycle assessment Requirements and guidelines Amendment 2";
- [7] **EN15804:2012+A2:2019** "Sustainability of construction works Environmental product declarations Core rules for the product category of construction products";
- [8] Regolamento "Circular Certification Product", ENEL X e ICMQ https://circularevolution.org/;
- [9] **Accredia,** Dipartimento Certificazione e Ispezione Via Tonale, 26 20125 Milano https://www.accredia.it/
- [10] **UNI CEI EN ISO/IEC 17029** "Valutazione della conformità Principi e requisiti generali per gli Organismi di Validazione e Verifica";
- [11] ISO 14065 "Principi generali per gli enti di validazione e verifica delle informazioni ambientali";
- [12] **EPDItaly**, www.epditalv.it.

Un'infrastruttura sostenibile: la Linea 2 della metropolitana di Torino

<u>Paola Merafina paola.merafina@infrato.it</u>, Francesco Azzarone, Roberto Crova, Fabio Rizzo, Stefano Strippoli Infra.TO, Torino

Riassunto

L'intervento proposto mira ad evidenziare come le opere infrastrutturali rappresentino un'occasione concreta per supportare la crescita dei territori interessati, in quanto elementi generativi capaci di innescare nuove dinamiche di sviluppo economico, sociale e ambientale. In tal senso per garantire uno sviluppo sostenibile del territorio, la progettazione definitiva della Linea 2 della metropolitana di Torino ha seguito gli indirizzi di strategia globale di sostenibilità orientati alla salvaguardia ambientale, all'uso efficiente delle risorse in un'ottica di circular economy, ad una maggiore resilienza dell'infrastruttura stessa, alla creazione di nuove connessioni per la mobilità sostenibile e di valore per lo sviluppo dei territori. Inoltre il progetto della Linea 2 è in linea con gli obiettivi europei e nazionali sulla mobilità sostenibile e smart che mirano a decarbonizzare il settore dei trasporti e ad incrementare l'accessibilità dei territori, al fine di migliorare la qualità della vita.

Summary

The present paper aims to highlight as the infrastructural projects represent a concrete growth opportunity for the territories impacted, since they are generating and fostering economic, social and environmental development. So in order to ensure a sustainable development of the area, the final design stage of Line 2 of the Turin metro has been executed following the general guidelines of sustainability strategy, oriented to the environmental protection, to the efficient use of resources in circular economy, to increase resilience of the infrastructure itself, to the creation of new connections for a sustainable and efficient mobility in the metropolitan area. The Line 2 project is coherent and aligned to European and national objectives of smart and sustainable mobility targeting to decarbonise the transport sector and to increase the urban accessibility, in order to improve the quality of life.

1. Introduzione

La Linea 2 della metropolitana di Torino Tratta Politecnico – Rebaudengo rappresenta un esempio di progettazione integrata e multidisciplinare centrata sui criteri di sostenibilità ambientale. Il Progetto, che prevede uno sviluppo di 9,7 km di galleria, 13 stazioni, 1 deposito/officina e 14 pozzi di ventilazione, ha adottato una strategia multiobiettivo e multilivello per garantire con successo gli obiettivi ambientali individuati a livello europeo e nazionale e favorire un efficace contrasto al cambiamento climatico, la conservazione e il recupero della biodiversità, una migliore qualità della vita e della salute umana.

2. Relazione

L'approccio olistico adottato nell'ambito della progettazione della Linea 2 della metropolitana di Torino ha consentito di integrare tra loro competenze diverse, hard e soft engineering, al fine di perseguire determinati obbiettivi di sostenibilità ambientale (Figura 1). Uno dei paradigmi fondamentali è stata la transizione da una economia lineare ad una economia circolare in tutti gli aspetti centrali di progettazione.

Al riguardo, nel presente capitolo, si illustrano alcuni dei numerosi interventi che rendono evidente tale approccio.



Fig. 1 - Obiettivi di sostenibilità

2.1 L'ex trincea ferroviaria (il c.d. "trincerone"): un'infrastruttura blu e verde

Il progetto della Linea 2 della metropolitana rappresenta un'opportunità per territori periferici quali aree in degrado come l'ex trincea ferroviaria (il c.d. "trincerone"). La riqualifica del "trincerone" porterà alla realizzazione di un'infrastruttura urbana multifunzionale blu – verde [1] [2] che favorisce la biodiversità ed il drenaggio urbano sostenibile in quanto prevede sia Nature Based Solution (NbS) [3], quali alternativa sostenibile alla bonifica convenzionale per la riqualificazione delle aree dismesse, sia nuovi Servizi Ecologici (SE) a disposizione per la comunità. Il trincerone consisterà in una rete strutturale e funzionale di sistemi naturali e semi-naturali capace con i propri servizi di migliorare la qualità della vita e la resilienza della città tramite il miglioramento della qualità dell'aria, l'adattamento ai cambiamenti climatici, la mitigazione dell'isola di calore urbana, la capacità di drenaggio delle acque meteoriche, la tutela della biodiversità, ecc. (Figura 2).

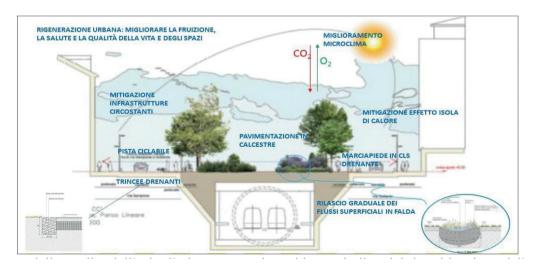


Fig. 2 - Nature Based Solutions utilizzate nel "trincerone"

Esso costituirà un corridoio ecologico che unirà il Parco Sempione ad ovest al parco Colletta, il parco della Confluenza e il parco dell'Arrivore ad est connettendo diverse aree verdi esistenti, allo stato attuale di dimensioni ridotte e spesso trascurate, ed incrementando la connettività tra gli habitat e il funzionamento degli ecosistemi degli spazi naturali in un'area fortemente antropizzata.

Il progetto del "trincerone" prevede la messa a dimora di n. 700 esemplari di specie arborea di diversa grandezza, di prati sia fioriti che misti, l'inserimento di bacini di bioritenzione, c.d. "rain garden", trincee drenanti per la gestione del deflusso superficiale delle acque meteoriche, vasche di accumulo delle acque di seconda pioggia per l'irrigazione delle aree verdi e la realizzazione di piste ciclabili oltre che aree fitness, campi da gioco, ecc. (Figura 2).

Gli obiettivi della progettazione integrata dell'infrastruttura verde e blu sono stati restituire permeabilità ai suoli urbani e spazio e tempo alle acque, in osservanza anche del principio di "invarianza idraulica", producendo benefici ecosistemici, elevando la resilienza urbana ai cambiamenti climatici, creando spazi pubblici fruibili per la socialità, il gioco, il benessere, la salute e la sicurezza delle persone.

Nell'ambito della valutazione del ciclo di vita (LCA) si è tenuto conto dei vantaggi dei servizi ecosistemici [4] attraverso un'analisi ambientale completa degli impatti dei diversi scenari di riqualificazione. I servizi ecosistemici che sono stati considerati nell'ambito della modellazione sono lo stoccaggio del carbonio atmosferico, la rimozione degli inquinanti atmosferici, la regolazione della temperatura, la protezione idrogeologica, la capacità di infiltrazione delle acque piovane, la biodiversità, i benefici sociali, la produzione agricola e l'impollinazione.

2.2 Geotermia

La Linea 2 della metropolitana di Torino presenta una tecnologia innovativa che consente di sfruttare lo scambio di calore con il sottosuolo per produrre energia che potrà essere utilizzata sia all'interno che all'esterno dell'opera stessa attraverso l'impiego di geostrutture energetiche, ossia elementi strutturali quali diaframmi e anelli di rivestimento della galleria (strutture in cemento armato) che possono essere integrate con tubazioni in materiale polietilenico a elevata densità, fissate alla gabbia di armatura prima del getto di calcestruzzo [5]. Tale accorgimento costruttivo permette di avere, all'interno dell'elemento strutturale in opera, un circuito chiuso entro cui fluisce il liquido termovettore, in genere costituito da una soluzione acquosa salina o antigelo (glicole).

Il potenziale geotermico del sottosuolo attraversato dall'opera può essere utilizzato ai fini energetici mediante i rivestimenti delle gallerie (gallerie energetiche), sia per quelle a foro cieco scavate con metodo meccanizzato mediante Tunnel Boring Machine (TBM), sia per i manufatti sotterranei (stazioni e deposito/officina) e le gallerie artificiali realizzate con il metodo Cut & Cover. La possibilità di attivazione termica risiede nell'attrezzaggio con tubi scambiatori nel primo caso degli anelli prefabbricati montati dalla TBM (Figura 3), nel secondo caso dei diaframmi di sostegno degli scavi (Figura 4).

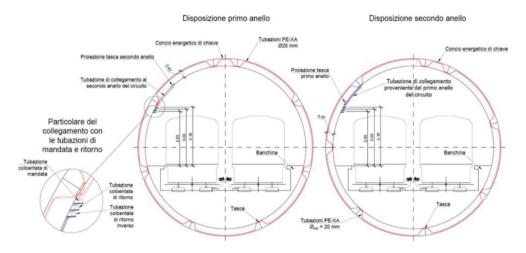


Fig. 3 - Schema circuito galleria scavata con TBM

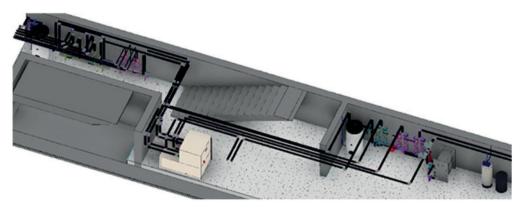


Fig. 4 - Schema circuito galleria artificiale in Cut&Cover

La quantificazione del calore generato è stata valutata attraverso una Modellazione Numerica FEM 3D termo-idraulica che simula l'attivazione termica delle gallerie e dei manufatti sotterranei (stazione e deposito/officina). Le fasi di calcolo sono relative alla definizione della geometria del modello e delle condizioni iniziali, alle inizializzazioni idrauliche e termiche e alla simulazione dell'attivazione geotermica. Le potenze termiche risultanti sono riferite sia al contesto estivo che invernale [6]. Tramite la modellazione dell'intera opera è stata valutata l'interazione termica presente nel sottosuolo tra la Linea 2, gli impianti geotermici esistenti sul territorio. L'energia termica è utilizzabile principalmente per i fabbisogni delle stazioni, ed in particolare per alimentare il sistema di condizionamento delle aree aperte al pubblico, mentre il surplus potrà essere destinato all'alimentazione di una rete a bassa entalpia dedicata ai ricettori di interesse posti nelle immediate adiacenze della Linea 2.

Il sistema geotermico afferente alla singola stazione sarà composto sia dall'impianto presente nei conci che nei diaframmi di galleria posti a monte e a valle della stessa stazione. In aggiunta verranno utilizzati anche i diaframmi attivabili della medesima stazione, all'interno dei quali saranno predisposte, analogamente alla galleria, le tubazioni per lo sfruttamento del calore a bassa entalpia del terreno. La produzione di energia richiesta dal condizionamento delle aree

comuni di stazione sarà realizzata tramite l'utilizzo di una pompa di calore acqua glicolata-acqua, connessa lato sorgente con il generatore geotermico per mezzo di uno scambiatore a piastre e delle pompe di circolazione (Figura 5). La produzione termica delle geostrutture energetiche per la Linea 2 Tratta Politecnico –Rebaudengo è stimata complessivamente in 33.13 GWh.

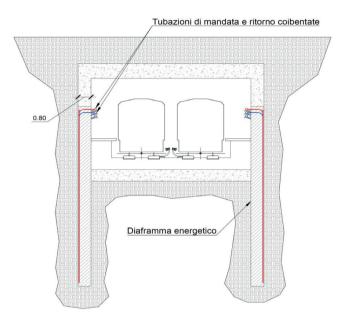


Fig. 5 -Centrale termica - pompa di calore (modello BIM)

2.3 Riciclo degli aggregati e recupero delle terre e rocce da scavo

La realizzazione della Linea 2 della metropolitana di Torino comporterà la produzione in ambito urbano di circa 2.401.200 mc (volume stimato calcolato "in banco") di materiali da scavo. Obiettivi primari del progetto di gestione del flusso di materiali da scavo ingenerato dalla realizzazione dell'opera sono stati la valorizzazione merceologica ed economica della risorsa naturale escavata, costituita principalmente da terreno naturale di origine fluvioglaciale e fluviale di significativo valore minerario, e la minimizzazione delle attività di movimentazione dei materiali da scavo nel loro percorso dai siti di produzione ai siti di destinazione finale. La progettazione ha quindi promosso una gestione circolare e sostenibile dei materiali da scavo prevedendo l'attivazione di tutti i percorsi normativi vigenti (artt. 184 bis, 185, 242 ter del D.Lgs. 152/06 [7] e s.m.i., artt. 4-22 del D.P.R. 120/2017 [8]) che consentono il riutilizzo in sito e fuori sito dei materiali da scavo. Questi, previa approfondita verifica analitica delle caratteristiche merceologiche e di qualità ambientale da eseguirsi in corso d'opera, potranno trovare ampio reimpiego in opera, per il soddisfacimento del fabbisogno di inerti da costruzione della stessa, ed esternamente ad essa, per il riutilizzo in cicli produttivi e recuperi ambientali di attività estrattive in esercizio o dismesse. Al fine di promuovere un percorso di recupero e riciclo in linea con gli obiettivi di economia circolare, il reimpiego dei materiali da scavo potrà avvenire direttamente in sito, mediante il reimpiego di inerti da rinterro necessari all'opera stessa, o fuori sito, in un ambito territoriale limitrofo alla Città di Torino mediante il reimpiego in cicli produttivi, quali la produzione di calcestruzzo o conglomerato bituminoso (anch'essi oggetto di fabbisogno dell'opera), e recuperi ambientali/morfologici di aree selezionate principalmente in funzione della distanza dai cantieri.

Nella Figura 6 si riporta un grafico di sintesi della suddivisione volumetrica dei materiali da scavo prodotti nei percorsi di gestione previsti nel progetto, formulata sulla base degli esiti della caratterizzazione ambientale dei materiali da scavo eseguita, da cui si può evidenziare che:

la produzione di materiali da scavo da gestire come rifiuti speciali sarà minima (0,14%); il fabbisogno di materiali litoidi per rinterri dell'opera potrà essere interamente soddisfatto mediante il riutilizzo in sito dei materiali da scavo prodotti (18.61%):

il fabbisogno di materiali litoidi per produzione calcestruzzo/asfalto da utilizzare nella realizzazione dell'opera potrà, in termini volumetrici, essere interamente soddisfatto dai quantitativi di materiali da scavo che saranno prodotti nella realizzazione della stessa;

la volumetria di materiali litoidi prodotti nella realizzazione dell'opera eccedenti il fabbisogno della stessa (34,26%) avrà caratteristiche idonee ad una sua gestione in regime di sottoprodotto e potrà pertanto essere riutilizzata come tale esternamente all'opera.

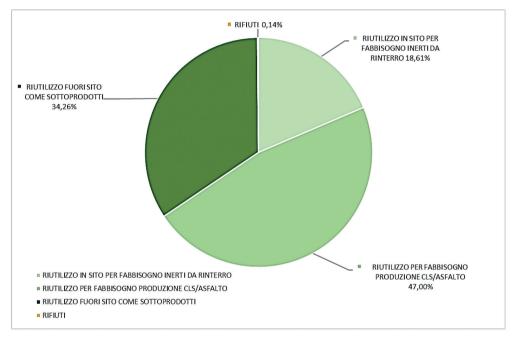


Fig. 6 – Destinazione prevista dei materiali da scavo prodotti nella realizzazione dell'opera

3. Conclusioni

Il lavoro proposto ha permesso di evidenziare come una grande opera infrastrutturale quale la linea 2 della metropolitana di Torino possa costituire un'opportunità per valorizzare le peculiarità identitari e sociali, ambientali ed economiche in cui la collettività si riconosce, contribuendo ad innescare nuove possibilità di sviluppo sostenibile per un territorio più accessibile, inclusivo e integrato.

Da questa nuova concezione di infrastruttura sostenibile come elemento generativo per innescare dinamiche di sviluppo nelle comunità interessate possono essere create nuove connessioni tra territori e scenari di mobilità sostenibile, ma soprattutto si può contribuire a migliorare la qualità della vita dei residenti e ad incrementare lo sviluppo e l'attrattività dei luoghi, rendendo tangibili benefici ed opportunità in una prospettiva di lungo periodo.

Gli obiettivi di decarbonizzazione saranno raggiunti non solo grazie al disincentivo di mezzi privati e più inquinanti con l'esercizio della metropolitana ma anche perché l'infrastruttura in oggetto utilizzerà energia geotermica con conseguente riduzione delle emissioni di gas serra. Il flusso di gestione dei materiali è stato ottimizzato privilegiando il reimpiego della risorsa estrattiva escavata, in sito e/o fuori sito, con conseguente riduzione del consumo di materia prima "vergine" e delle emissioni climalteranti prodotte dalla movimentazione di materiali necessari a soddisfare il fabbisogno di inerti per la costruzione dell'opera.

Bibliografia

- [1] Donati, G.F.A., Bolliger, J., Psomas, A., Maurer, M., Bach, P.M. (2022) Reconciling cities with nature: Identifying local blue-green infrastructure interventions for regional biodiversity enhancement. Journal of Environmental Management, 316: 115254.
- [2] **CE, 2013.** Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Green Infrastructure (GI) Enhancing Europe's Natural Capital COM/2013/0249 final.
- [3] Somarakis, G., Stagakis, S., & Chrysoulakis, N. (Eds.). (2019). ThinkNature Nature-Based Solutions Handbook. ThinkNature project funded by the EU Horizon 2020 research and innovation programme.
- [4] Masiero, M.; Amato, G.; Murgese, D.; Perino, M.; Allocco, M.; Cimini, M. Relazione Di Applicazione della valutazione dei servizi ecosistemici identificati con riferimento al verde urbano orizzontale e verticale di proprietà comunale presente nel territorio del comune di Torino; Etifor and SEAcoop:Padova/Torino,Italy,2021
- [5] Barla, M.; Insana, A. (2023). Energy tunnels as an opportunity for sustainable development of urban areas. In: Tunnelling and underground space technology, vol. 132. ISSN 0886-7798.
- [6] Barla M., Baralis M., Insana A., Aiassa S., Antolini F., Azzarone F., Marchetti P. (2021). On the thermal activation of Turin metro Line 2 tunnels, M. Barla et al. (Eds.): IACMAG 2021, LNCE 126, pp. 1–8, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64518-2
- [7] **Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, "Norme in materia ambientale"**, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Serie Generale n. 88 del 14-04-2006 Suppl. Ordinario n. 96
- [8] Decreto del Presidente della Repubblica 13 giugno 2017, n. 120, "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164.", Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Serie Generale n. 183 del 07-08-2017

Gestione circolare degli scarti produttivi: sviluppo di un modello LCA comparativo applicato alla produzione del tessuto non tessuto spunbond della società Tessiture Pietro Radici S.p.A.

Martina Caccia martina.caccia@radicigroup.com, Radici InNova S.c.a r.l., Novara,
Paolo Simon Ostan, LCA expert, Consultant, Portogruaro,
Paola Panzeri, Tessiture Pietro Radici S.p.A., Gandino,
Francesca Pedrini, Tessiture Pietro Radici S.p.A., Gandino,
Stefano Alini, Radici InNova S.c.a r.l., Novara

Riassunto

L'obiettivo dello studio è sviluppare un modello di Life Cycle Assessment (LCA) per valutare i potenziali benefici, in termini di emissioni di gas serra, dati dal recupero interno degli scarti produttivi rispetto all'utilizzo di nuova materia prima vergine. Il modello LCA comparativo è stato applicato, come caso studio, alla produzione del tessuto non tessuto spunbond della società Tessiture Pietro Radici, utilizzando le regole di allocazione definite dalla norma ISO 14044² per il riutilizzo di materiale, basate sugli schemi del ciclo chiuso e del ciclo aperto. I risultati hanno dimostrato la riduzione dell'indicatore di Global Warming a seguito del recupero degli scarti rispetto al caso in cui il ricircolo non avvenga. Lo studio è stato sottoposto a revisione critica da parte di un ente terzo: l'approccio sviluppato può quindi essere considerato conforme alle norme di riferimento e perciò applicabile a processi simili, anche in altri settori produttivi.

Summary

The goal of the study is developing a Life Cycle Assessment (LCA) model to evaluate the potential benefits, in terms of global warming emissions, due to the internal recovery of production scraps with respect to the use of virgin raw material. The comparative LCA model has been applied, as case study, to the production of non-woven spunbond fabric of the company Tessiture Pietro Radici, following the allocation rules defined by ISO 14044² for material reuse, based on open and closed loop schemes. Results have shown the reduction of the Global Warming indicator due to scraps recovery with respect to the use of only virgin raw material. The study has been critically reviewed by a third party: the developed approach can be considered compliant with the reference standards and so applicable to similar processes, also in other manufacturing sectors.

1. Introduzione

Ai fini dell'applicazione dei principi dell'economia circolare, risulta importante ridurre gli scarti di processo e, qualora non fosse possibile, valorizzarli tramite recupero interno. Tale recupero, rispetto ad altre soluzioni di gestione dei materiali di scarto quali, ad esempio, l'in-

cenerimento o il riciclo presso enti esterni, consente di ridurre il consumo di materia prima vergine e di evitare il trasporto del materiale scartato dal sito produttivo al sito di smaltimento. Scopo dello studio è sviluppare un modello di Life Cycle Assessment (LCA) comparativo che consenta di valutare i potenziali benefici, in termini di emissioni di gas serra, dovuti al recupero interno degli scarti, rispetto all'utilizzo di nuova materia prima vergine. Gli attuali schemi basati sulla metodologia LCA¹ non consentono infatti di considerare gli scarti recuperati internamente come rifiuti e di contabilizzare quindi i benefici derivanti dal loro uso. Risulta perciò necessario applicare le regole di allocazione definite dalla norma ISO 14044² per il riutilizzo di materiale, distinguendo tra recupero mediante ciclo chiuso e ciclo aperto. Il ciclo chiuso è costituito da un sistema in cui gli scarti sono ricircolati, dopo eventuale ulteriore lavorazione, allo stesso sistema da cui sono prodotti; le regole del ciclo aperto, invece, si applicano quando gli scarti sono ricircolati in un sistema diverso da quello che li ha prodotti². Il modello sviluppato considera un sistema a cui sono applicate sia le regole del ciclo chiuso che quelle del ciclo aperto. In particolare, il ciclo chiuso è stato modellizzato evitando l'utilizzo di nuova materia prima vergine (polimero) nei cicli successivi all'inizio del lotto e considerando il flusso di scarti recuperati in sostituzione del polimero vergine.

Per il ciclo aperto, invece, è necessario dividere i carichi ambientali tra prodotto e scarti ricircolati. È stata quindi applicata l'allocazione economica che assegna i carichi ambientali in base ai prezzi del prodotto principale e degli scarti.

Il modello LCA comparativo è stato sviluppato, come caso studio, seguendo le fasi definite dalle norme ISO 14040³ e ISO 14044. Lo scopo dello studio è quello di comparare i risultati relativi alle emissioni di gas serra generate dal ciclo di vita del tessuto (TNT) spunbond in polipropilene (PP) della società Tessiture Pietro Radici S.p.A. prodotto con differenti quantità di scarti ricircolati rispetto al caso in cui non vi sia tale ricircolo interno.

I risultati calcolati si basano sulla categoria di impatto Global Warming (GW) per tutti i prodotti oggetto di studio, quantificata mediante il metodo di calcolo IPCC 2021 (incl. CO2 uptake) GWP100a, il software SimaPro 9.4.0.2 e il database Ecoinvent 3.8. Lo studio ha subito revisione critica da parte di ente terzo indipendente.

2. Relazione

Ai fini della comprensione di quanto applicato al caso studio, si riprendono i concetti di ciclo chiuso e ciclo aperto, come definiti dalla norma ISO 14044².

2.1 Ciclo chiuso

Nella figura 1 è rappresentato lo schema di un ciclo chiuso:

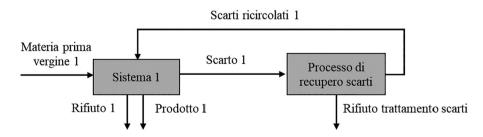


Fig. 1 - Schema del ciclo chiuso

Il ciclo chiuso comprende due sistemi differenti: il Sistema 1 e il Processo di recupero scarti. Al Sistema 1, che produce il prodotto di interesse (Prodotto 1), (esempio applicativo: produzione del tessuto non tessuto) vengono alimentati materia prima vergine (esempio: polimero)

e scarti ricircolati in quantità tali da ottenere le produzioni desiderate. Il ciclo chiuso si applica quindi a sistemi in cui gli scarti vengono ricircolati nello stesso sistema dal quale sono prodotti. Dal processo produttivo si originano, oltre al prodotto di interesse (Prodotto 1), rifiuti di processo, inviati a riciclo o smaltimento esterno all'azienda (Rifiuto 1) tramite codice CER, e scarti (Scarto 1), che sono inviati ad un altro impianto interno all'azienda per renderli riutilizzabili (Processo di recupero scarti, ad esempio, la rigranulazione). Il processo di recupero scarti potrebbe non avere una resa pari al 100%, producendo anche rifiuti (Rifiuti trattamento scarti). Gli scarti ricircolati al Sistema 1 (Scarti ricircolati 1) consentono quindi di risparmiare materia prima vergine. Nel modello LCA viene considerato tale risparmio, così come i consumi di utilities del processo principale e del recupero degli scarti.

2.2 Ciclo aperto

Nella figura 2 si riporta uno schema del ciclo aperto:

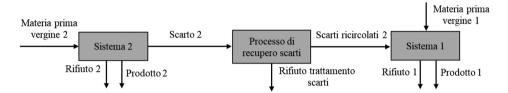


Fig. 2 - Schema del ciclo aperto

Nel ciclo aperto, sono compresi tre sistemi differenti: il Sistema 2, il Sistema 1 e il Processo di recupero scarti.

Il Sistema 2 (esempio di applicazione: produzione del tessuto non tessuto) produce prodotto di interesse (Prodotto 2) da sola materia prima vergine, senza contenuto di prodotto ricircolato. Dal processo produttivo, si originano anche rifiuti (Rifiuto 2), inviati a trattamento esterno (riciclo o smaltimento) e scarti (Scarto 2), rilavorati internamente. Gli scarti prodotti dal Sistema 2 sono inviati internamente al Processo di recupero scarti (esempio: rigranulazione e rilavorati per renderli utilizzabili nel Sistema 1. Se la resa del processo di recupero degli scarti non è 100%, si producono anche rifiuti inviati al trattamento esterno.

Gli scarti rilavorati sono inviati ad un impianto dedicato (Sistema 1) che produce un secondo prodotto di interesse (Prodotto 1). Al Sistema 1, oltre agli scarti, è alimentata anche materia prima vergine, in quantità variabile, a seconda del prodotto.

Anche in questo caso, come per il ciclo chiuso, l'utilizzo di scarti ricircolati consente di risparmiare materia prima vergine.

La differenza principale tra il ciclo chiuso e il ciclo aperto è dovuta al ricircolo degli scarti, che nel primo caso, avviene nello stesso sistema in cui sono prodotti e, nel secondo, in un sistema differente.

Per il Sistema 2 risulta quindi necessario dividere i carichi ambientali tra il prodotto e gli scarti inviati a trattamento interno mediante procedure di allocazione. A tale scopo si è deciso di applicare l'allocazione economica.

Ad uno stesso sistema possono essere applicate contemporaneamente sia le regole del ciclo chiuso che quelle del ciclo aperto se vengono ricircolati sia scarti prodotti dal sistema stesso che da altri sistemi. Un esempio di tale applicazione è il caso studio considerato.

2.3 Caso studio

La società Tessiture Pietro Radici S.p.A., facente parte dell'area di business Advanced Textile Solutions del gruppo Radici, produce, tra gli altri prodotti, tessuto non tessuto in polipropile-

ne (PP) con la tecnologia spunbond su tre linee produttive (A, B, C). Le tecnologie di produzione del tessuto non tessuto su ciascuna linea sono simili; la materia prima utilizzata (granuli di polimero in polipropilene e additivi) è la stessa per tutte le linee.

Oltre al prodotto principale, dal processo produttivo si originano anche sottoprodotti, rifiuti e scarti. I sottoprodotti sono venduti; i rifiuti vengono inviati a riciclo esterno e gli scarti, dopo rigranulazione, vengono ricircolati internamente per essere utilizzati, insieme ad altra materia prima vergine, in una linea specifica, per produrre nuovamente tessuto non tessuto.

Il modello LCA comparativo, sviluppato per valutare l'eventuale beneficio, sulle emissioni di gas serra, dovuto al recupero interno degli scarti, è stato applicato al tessuto non tessuto spunbond in PP prodotto dalla linea A.

L'unità dichiarata è 1 kg di tessuto non tessuto e i confini del sistema sono del tipo cradle-to-gate includendo, quindi, i processi a monte dei processi produttivi Radici e i processi che avvengono nello stabilimento Radici fino all'imballaggio del prodotto finito.

Nella figura 3 è rappresentato lo schema di processo di Tessiture Pietro Radici:

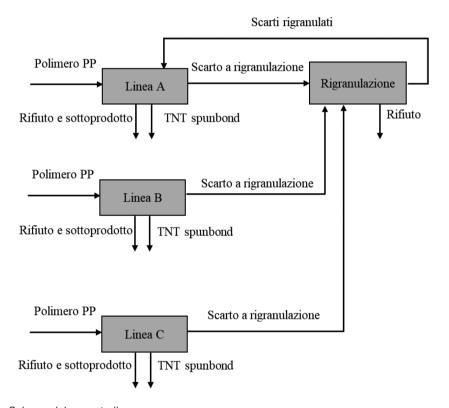


Fig. 3 - Schema del caso studio

Come si può notare dalla Fig. 3, si tratta di un sistema che segue sia le regole del ciclo chiuso che quelle del ciclo aperto. Alla linea A vengono alimentati granuli di polimero in PP vergine e scarti rigranulati per produrre tessuto non tessuto spunbond in PP. Gli scarti rigranulati provengono sia dalla linea A stessa che dalle linee B e C. Tutti gli scarti sono inviati a rigranulazione sulla stessa macchina e poi ricircolati alla linea A.

Le linee B e C producono lo stesso prodotto della linea A, ovvero spunbond di PP, ma soltanto da granuli di polimero in PP vergine.

Il sistema comprendente la linea A e la linea di rigranulazione segue le regole del ciclo chiuso; il sistema composto dalle linee B e C, dalla linea di rigranulazione e dalla linea A è invece un ciclo aperto.

Nella tabella 1 si riporta la corrispondenza tra i termini usati nei paragrafi precedenti e quelli relativi al caso studio:

Terminologia generica	Caso studio		
Sistema 1	Linea A		
Sistema 2	Linee B e C		
Processo di recupero scarti	Rigranulazione scarti		
Prodotto 1	TNT in PP linea A con contenuto variabile di scarti ricircolati		
Prodotto 2	TNT in PP linee B e C (100% PP vergine)		
Materia prima vergine 1	Polimero PP linea A		
Materia prima vergine 2	Polimero PP linee B e C		
Scarto 1	Scarto a rigranulazione linea A		
Scarto 2	Scarto a rigranulazione linee B e C		
Rifiuto 1	Rifiuti a riciclo esterno e sottoprodotti linea A		
Rifiuto 2	Rifiuti a riciclo esterno e sottoprodotti linee B e C		
Rifiuti trattamento scarti	Rifiuti derivanti dalla rigranulazione		
Scarti ricircolati 1	Scarti prodotti dalla linea A e ricircolati alla linea A stessa		
Scarti ricircolati 2	Scarti prodotti dalle linee B e C e ricircolati alla linea A		

Tab. 1 - Terminologia caso studio

Nel modello LCA sviluppato è stato quindi considerato il risparmio di materia prima vergine (polimero PP) dovuto sia al ricircolo degli scarti prodotti dalla linea A che di quelli prodotti dalle linee B e C (rispettivamente ciclo chiuso e ciclo aperto).

Per il ciclo aperto, è stata applicata l'allocazione economica al fine di suddividere gli impatti ambientali tra il prodotto tessuto non tessuto spunbond in PP e gli scarti inviati a rigranulazione dalle linee B e C. La scelta di utilizzare l'allocazione economica per gli scarti ricircolati è stata effettuata poiché essi rappresentano di fatto un materiale assimilabile ad un rifiuto e l'allocazione in termini di massa assegnerebbe i medesimi impatti ambientali, per unità di massa, sia agli scarti recuperati sia al tessuto non tessuto. Il criterio di allocazione economica, invece, assegna i carichi ambientali tenendo conto del valore economico, basato sui prezzi di vendita, del prodotto e degli scarti recuperati. Il prezzo degli scarti è solitamente infatti molto inferiore a quello del prodotto.

Si riportano in Tab. 2, a titolo d'esempio le percentuali utilizzate per l'allocazione economica per la linea B:

Tipologia	% allocazione economica
Prodotto	96%
Sottoprodotto	0,85%
Scarto	3,15%

Tab. 2 - Allocazione economica

Nello studio LCA comparativo sono stati previsti diversi scenari di confronto, considerando tessuto non tessuto contenente differenti quantità di scarti ricircolati (0%, ovvero 100% PP vergine, 50%, 70%, 80%, 90%).

Per ciascuno scenario è stato valutato l'impatto ambientale relativo alla sola categoria Global Warming (GW), utilizzando il metodo di calcolo IPCC 2021 (incl. CO2 uptake) GWP100a.

Nel grafico sottostante (Fig. 4) sono contenuti i risultati dello studio:

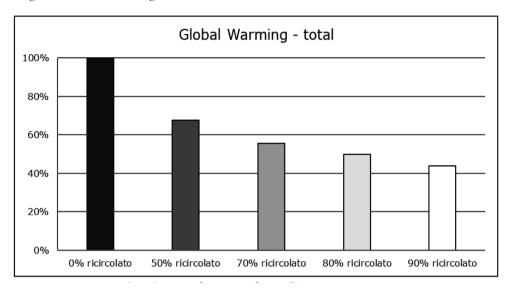


Fig. 4 - Risultati studio LCA comparativo

Dal grafico precedente, in cui il prodotto indicato con 0% coincide con lo scenario 100% PP vergine, si nota come il modello LCA comparativo sviluppato e applicato al caso studio consenta di ottenere un impatto ambientale inferiore nel caso del recupero dello scarto, con percentuali di variazioni sempre più significative all'aumentare della quota ricircolata.

3. Conclusioni

Nel presente studio è stato sviluppato un modello LCA comparativo per valutare i potenziali benefici, in termini di impatto ambientale relativo alla categoria Global Warming, dovuti al recupero interno degli scarti produttivi, applicando le regole di allocazione definite dalla norma ISO 14044 per il riutilizzo di materiale, distinguendo tra ciclo chiuso e ciclo aperto. Il modello sviluppato secondo norma ISO14044 è stato applicato alla produzione del tessuto non tessuto della società Tessiture Pietro Radici S.p.A., comparando l'impatto ambientale di prodotti contenenti diverse percentuali di scarto ricircolato e quello del tessuto prodotto con sola materia prima vergine. Per il sistema oggetto di studio è stato necessario applicare sia le regole del ciclo chiuso che quelle del ciclo aperto.

I risultati ottenuti hanno consentito di dimostrare i benefici dovuti al recupero interno degli scarti produttivi. A seconda del contenuto di scarti nel prodotto, la riduzione dell'impatto ambientale della categoria di Global Warming rispetto al tessuto contenente solo polimero di PP vergine varia da circa il 30% (50% scarti ricircolati) a circa il 60% (90% scarti ricircolati). L'applicazione dei metodi di allocazione economica nel caso del ciclo aperto, ritenuta dall'ente indipendente incaricato per la revisione critica pienamente in linea con le norme di rifermento, si è rivelata adeguata a mettere in luce le riduzioni, in termini di emissioni di gas serra,

dovute al ricircolo degli scarti produttivi. Questo tipo di allocazione consente di suddividere i carichi ambientali tendendo di fatto conto degli aspetti qualitativi del prodotto e degli scarti, direttamente associabili al costo di questi ultimi.

L'obiettivo dello studio può essere considerato raggiunto e il modello può essere utilizzato come esempio per l'applicazione a processi simili, anche in ambiti produttivi differenti.

Bibliografia

- [1] **IES, 2021**. General Programme Instructions for the International EPD® System. Document version 4.00, dated 2021-03-29, www.environdec.com;
- [2] **ISO (UNI EN), 2021**. Environmental Management Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines, ISO 14044:2021, International Organization for Standardization, Geneve, Switzerland;
- [3] **ISO** (**UNI EN**), **2021**. Environmental Management Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines, ISO 14040:2021, International Organization for Standardization, Geneve, Switzerland.

Innovation in the electronic waste sector: a descriptive analysis of patents for WEEE recycling

<u>Marco Compagnoni marco.compagnoni@unitn.it</u> – University of Trento, Trento Marinella Favot – Area Science Park, Trieste Riccardo Priore, Patlib – Area Science Park, Trieste

Summary

We exploit data on patent applications to investigate innovation trends in WEEE recycling. Our main contribution is twofold.

First, we describe the applicable methodologies to identify WEEE recycling patents, while describing the advantages and disadvantages of each of them.

Secondly, we provide a descriptive analysis of WEEE recycling patent applications filed in the last forty years worldwide. Especially, by relating the count of WEEE recycling patents at country-year level with the respective patents on the recycling of other types of waste, we provide a measure of countries' specialization in WEEE recycling. By relying on the well-established OECD ENV-TECH classification (2022) which identifies specific codes related to waste management and WEEE recycling, our methodology allows us to overcome the various issues related to patents searches based on keywords.

Our work provides a valuable methodology and source of information for picturing the international scenario of innovation in WEEE recycling and to develop connected policies.

Riassunto

Il paper usa dati sulle domande di brevetto per indagare le tendenze di innovazione nel riciclo dei RAEE. Il nostro contributo principale è duplice.

Primo, descriviamo le metodologie applicabili per identificare i brevetti di riciclaggio dei RAEE, descrivendone vantaggi e svantaggi.

In secondo luogo, forniamo un'analisi descrittiva delle domande di brevetto sul riciclaggio dei RAEE depositate negli ultimi quarant'anni in tutto il mondo. In particolare, mettendo in relazione il conteggio dei brevetti di riciclaggio dei RAEE a livello nazionale con i rispettivi brevetti sul riciclaggio di altri tipi di rifiuti, forniamo una misura della specializzazione dei paesi nel riciclaggio dei RAEE. Facendo affidamento sulla consolidata classificazione OCSE ENV-TECH (2022) che identifica codici specifici relativi alla gestione dei rifiuti e al riciclaggio dei RAEE, la nostra metodologia ci consente di superare le diverse problematiche legate alle ricerche di brevetti basate su parole chiave.

Il nostro lavoro fornisce una preziosa metodologia e fonte di informazioni per fotografare lo scenario internazionale dell'innovazione nel riciclaggio dei RAEE e per sviluppare politiche connesse.

1. Introduction

Waste electric and electronic equipment (WEEE) is a growing stream of waste which contains hazardous substances as well precious ones. On the one hand, WEEE can cause serious envi-

ronmental damages and threats to human health if not properly treated. On the other hand, WEEE includes high concentrations of precious and critical raw materials (CRM), whose recovery is strategic to alleviate dependence of countries with little CRM endowments on imports, while partially substituting the mining of virgin resources [1, 2]. WEEE is presenting a pressing issue for the record of waste generated worldwide (53.6 million tonnes generated in 2019) and its fast-growing trend (21% increase in just 5 years) [3]. Additionally, the substantial flows are still not properly managed both in developed and developing countries.

The WEEE recycling sector with its innovative solutions plays a pivotal role in diminishing the WEEE environmental impact, increasing the economic efficiency of using secondary raw materials in place of primary ones and loosening the dependence on third countries especially for the supply of precious and CRMs. This is applicable to all countries as none of them are completely independent from external supply.

Innovation can be measured by different primary indicators where the number of filed patents is a key indicator that reflects the technology innovation [4]. Some studies provide an overview of the

technological innovation for recycling of specific WEEE such as printed circuit board [5], or specific to some materials recovery [6]. To the best of our knowledge there is any specific study that analyses the innovation in the WEEE sector based on patents, and more precisely on their IPC/CPC codes. Therefore, in this research we investigate the innovation trends in the WEEE sector at a macro level by investigating the patents related to recycling WEEE at a national level by using the IPC/CPC codes specific to WEEE recycling.

More precisely, our main contribution is twofold. First, we describe the methodologies to identify WEEE recycling patents, while describing the advantages and disadvantages of each of them. Secondly, we provide a descriptive analysis of WEEE recycling patent applications filed in the last 40 years worldwide. Especially, by relating the count of WEEE recycling patents at country-year level with the respective patents on the recycling of other types of waste, we provide a measure of countries' specialization in WEEE recycling. By relying on the well-established OECD ENV-TECH classification (2022) which identifies specific codes related to waste management and WEEE recycling, our methodology allows us to overcome the various issues related to searches essentially based on keywords [7].

2. Report

2.1 Methodology

Generally speaking, it is possible to identify specific classes of patents following two alternative approaches. The first consists in relying on keywords in the text of the patent [5]; however, a major drawback of using keywords is that the outcome is language-sensitive. Hence, searches based on patent classifications, such as IPC and CPC codes, represent a more reliable approach [7]. Based on this methodology, the OECD ENV-TECH, a well-established classification for green patents [8], defines about 80 technological fields covering a variety of environmental policy objectives. In particular, the field "Recycling of waste of electrical or electronic equipment (WEEE)" is associated with the CPC Y02W30/82, while a list of other CPC/IPC codes identify recycling technologies for different types of waste.

Therefore, based on this classification, we obtained from PATSTAT [9] the list of worldwide patent applications for recycling technologies. Our dataset covers the period 1980-2021, for a total of almost 230 thousand patent families. The procedure for the extraction of our dataset from PATSTAT is detailly described in [10].

As for the methodology of analysis of our data, we elaborated both a time series analysis in order to investigate time trends and a technology distribution analysis to obtain information on the geographical location of patent applications.

2.2 Results

Our search identified a total of 8,439 patents related to WEEE recycling. As shown in Fig. 1, applications in this technological field overcame the 100 per year only in the early 90s, concentrating, first, in countries other than China. Instead, since the early 2000s patents for WEEE recycling started growing exponentially in China, exceeding the total number of new patent application filed anywhere else in the world already around 2015. Since this date, China has reached and affirmed its leadership worldwide.

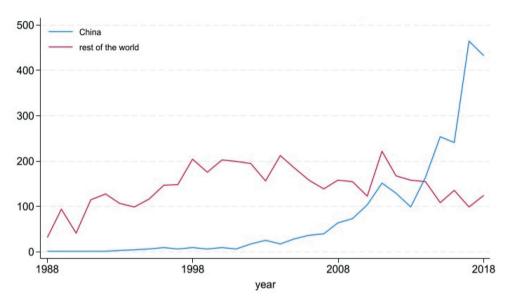


Fig. 1 - Patent applications for WEEE recycling by year, 1988-2018. Own elaboration.

Moving to a country-level perspective (Tab.1), the dominant position of China is even more clear, both when considering the average number of WEEE patents filed by year in the period 2014-2018 and the one of recycling patents in general, even if the gap is less pronounced in the second case. In both cases, the follower national authorities are South Korea and Japan. Interestingly, Korea, Taiwan and Japan rank in the first positions when considering the share of average WEEE over total recycling patents in the same period of observation. This should lead to the conclusion that these countries have the highest level of specialization in WEEE recycling. For a comparison, European countries filed together about 10 WEEE recycling patent per year in 2014-2018 and Germany, the European country with highest specialization in WEEE recycling, has a share of WEEE over total recycling patents below 2%.

WEEE RECYCLING PATENTS		RECYCLING PATENTS		SHARE	
Authority	patents/year	Authority	patents/year	Authority	%
China	311	China	12149	South Korea	4,5
South Korea	38	South Korea	861	Taiwan	3,8
Japan	27	WO	831	Japan	3,5

Segue

WEEE RECYCLING PATENTS		RECYCLING PATENTS		SHARE	
WO	16	Japan	795	China	2,7
USA	13	USA	723	WO	1,9
EP	8	EP	567	Germany	1,9
Taiwan	5	Canada	268	USA	1,9
Germany	3	Russi	241	EP	1,4
Canada	2	Brazil	191	France	0,9
Poland	2	Australia	164	Canada	0,9

Tab. 1 – Ranking of authorities by average yearly number of WEEE recycling patents, of all recycling patent and by share of WEEE over all recycling patents applications filed in 2014-2018. EP = European Patent Office; WO = World Intellectual Property Organization. Own elaboration.

Focusing on Europe, the maps presented in Fig. 2 show that the most innovative countries both in WEEE and overall recycling in the last decade of observation (2008-2018) were Germany, Poland and Spain. In particular, in that period, Germany filed the double of WEEE recycling patents with respect to the following country, Poland. Generally speaking, patents in this specific field filed in Europe were extremely limited and basically null in Eastern Europe.

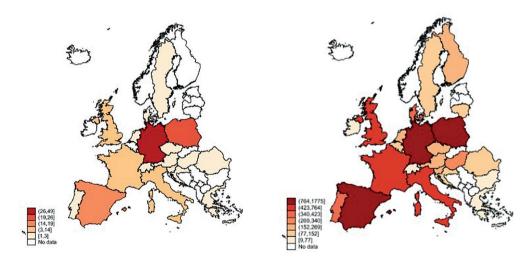


Fig. 2 – Map for the total number of WEEE recycling patents (left) and all recycling patents filed in European countries (right) over the period 2008-2018. Own elaboration.

If we consider the share of WEEE over total patents for the period 2008-2018, Czech Republic (3.8%), Germany (2.8%) and Italy (2.7%) appear to be the most specialized European countries.

Next, we investigated the evolution of the specialization of European countries in WEEE recycling. To do so, we calculated 5-years averages for the share of WEEE recycling patents over other recycling patents filed over the latest period of observation (2014-2018) and twenty years before; the choice of using 5-years averages is to reduce the volatility of the indicator, while observations after 2018 are excluded because of the limited reliability. In Fig. 3 it ap-

pears that Germany retains its position of leadership of innovation in WEEE recycling since the previous decade, while Poland and Italy improved their position more recently. On the other hand, we find that Spain, while being a relatively strong innovator in recycling in general – considering European standards-, has a low specialization in WEEE recycling.

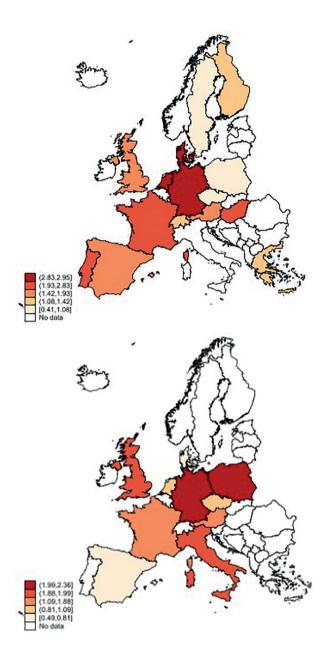


Fig. 3 – Map for the share of WEEE recycling patents over other recycling patents filed over the period 1994-1998 (left) and 2014-2018 (right) in the main European countries. Own elaboration.

3. Conclusions

Waste from electrical and electronic equipment is increasing worldwide presenting environmental and economic issues. Nevertheless, WEEE can be a source of precious and critical raw material. In this research we investigate the innovation of the WEEE sector worldwide by investigating the patents related to the recycling of WEEE from 1980 to 2021. The search is based on the methodology developed by OECD [6] on the classification based on IPC and CPC codes.

First, we performed a time series analysis to investigate the trend of WEEE recycling patterns. We found that since the late nineties, the number of patents increased and overcome 100 applications per year. Patents in WEEE recycling where concentrated in countries other than China until the early 2000s. Nonetheless, in the last twenty years applications grew exponentially in China, which rapidly became the leader in terms of number of filed patents. In 2015 the total number of patents filed by the Chinese applicants exceeded the overall application of the other countries.

Our second result is related to the country specialisation in WEEE recycling, defined in this paper as the percentage of filed patent in WEEE recycling compared on the total number of patents in any recycling sector. In the most recent period of observation (2014-2018), South Korea (4.5%), Taiwan (3.8%) and Japan (3.5%) have been the most specialized counties.

Finally, we focused on the European countries, which performed much worse both in terms of number of patents registered and in terms of specialization. Czech Republic, Germany and Italy are the most specialized countries (2008-2018) even if the number of filed patents is low. Analysing the evolution of the index, we discover that Germany is keeping its leadership position in Europe for twenty years, while Poland and Italy improved their specialization more recently. Overall, this analysis shows how Europe is currently strongly lagging behind East Asian countries in innovation in the WEEE recycling sector.

This first analysis can be useful for stakeholder working in the WEEE sector, but also to the policymakers, pointing out that to reinforce the WEEE recycling sector some support can be provided both by more stringent policy on WEEE recovery and by financial support. Finally, our methodology is useful for researchers to investigate technology innovation systems in the recycling sector [11].

Bibliography

- [1] Mathieux, F., Ardente, F., Bobba, S., Nuss, P., Blengini, G., Alves Dias, P., Blagoeva, D., Torres De Matos, C., Wittmer, D., Pavel, C., Hamor, T., Saveyn, H., Gawlik, B., Orveillon, G., Huygens, D., Garbarino, E., Tzimas, E., Bouraoui, F., Solar, S., (2017). Critical Raw Materials and the Circular Economy Background Report. https://doi.org/10.2760/378123
- [2] **Compagnoni, M.** (2022). Is Extended Producer Responsibility living up to expectations? A systematic literature review focusing on electronic waste. *Journal of Cleaner Production*, 367, 133101. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133101
- [3] Forti V., Baldé C.P., Kuehr R. and Bel G. (2020) The Global E-waste Monitor: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam.
- [4] **Desheng L., Jiakui C. and Ning Z.,** (2021). Political connections and green technology innovations under an environmental regulation. Journal of Cleaner Production, https://doi.org/10.1016/.
- [5] Rocchetti, L., Amato, A., and Beolchini, F. (2018). Printed circuit board recycling: A patent review. Journal of Cleaner Production, 178, 814–832. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcle-pro.2018.01.076
- [6] **Tansel B.,** (2017). From electronic consumer products to e-wastes: Global outlook, waste quantities, recycling challenges. Environmental International. https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.002

- [7] **Haščič, I., and Migotto, M**. (2015). Measuring environmental innovation using patent data. https://doi.org/10.1787/5js009kf48xw-en
- [8] Favot, M., Vesnic, L., Priore, R., Bincoletto, A., and Morea, F. (2023). Green patents and green codes: How different methodologies lead to different results. Resources, Conservation & Recycling Advances, 18, 200132. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200132
- [9] PATSTAT website https://www.epo.org/en/searching-for-patents/business/patstat
- [10] **Priore, R., Compagnoni, M., and Favot, M.** (2023). WEEE recycling patents' dataset. Mendeley. https://doi.org/10.17632/4YSW32C9FY.1
- [11] **Cecere, G. and Martinelli, A.** (2017). Drivers of knowledge accumulation in electronic waste management: An analysis of publication data. Research Policy, 46(5), 925–938. https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.03.005

La fermentazione aerobica del syngas di pirolisi dei fanghi di depurazione: una soluzione innovativa per una gestione circolare di materia ed energia

<u>Vincenzo Pelagalli* vincenzo.pelagalli@unicas.it</u>, Silvio Matassa**, Marco Race*, Michela Langone***, Stefano Papirio**, Piet N. L. Lens***, Marco Lazzazzara***, Alessandro Frugis***, Luigi Petta****, Giovanni Esposito**

**** National University of Ireland Galway, Galway

**** ACEA ELABORÍ SpA, Roma

***** Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, energia e sviluppo economico sostenibile (ENEA), Bologna

Riassunto

La fermentazione aerobica del syngas derivante dalla pirolisi di fanghi di depurazione per la produzione di beni ad elevato valore aggiunto come le proteine microbiche (MP) è in grado di stimolare nuove prospettive di bioraffineria per gli impianti di trattamento delle acque reflue. A questo scopo, il presente lavoro ha lo scopo di valutare il potenziale di una coltura mista di batteri idrogeno-ossidanti (HOB) nella conversione di una miscela sintetica di syngas contenente rapporti H_2/CO_2 variabili, così come crescenti concentrazioni di H_2S e CO, in MP. Nessuna inibizione della coltura di HOB è stata osservata per rapporti H_2/CO_2 nel range 2-10, concentrazioni di H_2S fino allo 0,4% e di CO fino al 40%. Il processo ha mostrato performance stabili e riproducibili anche in applicazioni di lunga durata (30 giorni), e ha condotto alla produzione di MP con contenuto proteico fino al 74%.

Summary

The aerobic fermentation of syngas derived from the pyrolysis of municipal sewage sludge to produce value-added products such as microbial protein (MP) could unlock new biorefinery perspectives for wastewater treatment plants. To this end, the present work aimed to study the potential of a mixed hydrogen-oxidizing bacteria (HOB) community to convert a synthetic syngas containing variable H_2/CO_2 ratios as well as increasingly high concentrations of H_2S and CO into MP. No inhibition of the enriched HOB culture was observed for H_2/CO_2 ratios in the range 2-10, H_2S concentration up to 0.4% and CO up to 40%. The process showed stable performances also on the long-period (30 days) and led to the production of MP with a protein content of up to 74%.

^{*} Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale, Cassino

^{**} Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli

^{***} Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, energia e sviluppo economico sostenibile (ENEA), Roma

1. Introduzione

Elevati volume di fanghi di depurazione civili vengono prodotti ogni anno in Europa (8.5 milioni di tonnellate, in termini di sostanza secca, nel 2020) [1], con elevati costi di gestione a carico degli impianti di trattamento delle acque reflue (WWTPs), e con gravi preoccupazioni in termini di impatto ambientale. Nel 2021 la produzione nazionale è leggermente calata rispetto al 2020 e pari a 0.81 milioni tonnellate di fanghi (sostanza secca) [2] La pirolisi dei fanghi ne consente non solo il trattamento e la minimizzazione, ma anche la loro conversione in materiali secondari come il biochar e il syngas. In particolare, il syngas è una miscela gassosa prevalentemente composta da H., CO e CO., che potrebbe essere ulteriormente valorizzata in prodotti ad elevato valore aggiunto come le proteine microbiche (MP) [3]. Le MP rappresentano un materiale altamente proteico (contenuto di proteine fino all'80% in peso) ottenuto a partire da biomassa microbica, ed impiegabile come fonte proteica alternativa per mangimistica, nonché per la produzione di biopolimeri e fertilizzanti a lento rilascio [4]. I batteri idrogeno-ossidanti (HOB) sono microrganismi capaci di fermentare miscele gassose di H., O₂ e CO₂, accumulando al loro interno proteine in concentrazioni fino al 75% in peso, e potrebbero quindi ricoprire un importante ruolo nello sviluppo di strategie "Syngas-to-MP" [5]. Tuttavia, il syngas derivante da MSS è caratterizzato da una composizione fortemente variabile, con rapporti volumetrici H₂/CO₂ variabili nel range 0.1-10.0 [6,7], mentre le colture di HOB vengono generalmente arricchite utilizzando rapporti H₂/CO₂ intorno a 7.0 [8]. Inoltre, composti potenzialmente inibenti come CO e H_sS sono presenti all'interno del syngas da fanghi municipali, con concentrazioni rispettivamente fino a 2000 parti per milione volumetriche (ppmv) e fino al 40% in volume (v/v) [9,10]. La capacità dei batteri HOB di fermentare substrati gassosi contenenti elevate concentrazioni di H,S non è mai stata oggetto di precedenti studi, mentre pochi altri studi hanno investigato le performance di colture pure di HOB esposte a concentrazioni di CO fino al 30% v/v [11].

2. Relazione

In questo lavoro, una coltura mista di HOB è stata arricchita e studiata durante la fermentazione aerobica di miscele gassose simulanti composizioni realistiche di syngas ottenuto dalla pirolisi di fanghi municipali, contenenti concentrazioni e rapporti variabili di H₂, CO₂, CO e H₂S. La performance degli HOB è stata valutata monitorando il consumo di gas, la concentrazione di biomassa in termini di solidi sospesi volatili (SSV), la resa di biomassa rispetto all'idrogeno (espresso come equivalente domanda chimica di ossigeno (COD) (H₂-COD)), la produttività volumetrica di biomassa e il contenuto proteico della biomassa. Inoltre, l'evoluzione della coltura di HOB è stata valutata attraverso analisi microbiologiche.

2.1 Materiali e metodi

Come sorgente dell'inoculo per l'arricchimento della coltura di HOB è stato utilizzato compost prelevato da un apposito impianto di compostaggio. L'arricchimento è stato condotto all'interno di bottiglie serum da 306 mL, contenenti 40 mL di medium minerale preparato in accordo con precedenti studi [12]. Nello spazio di testa di ciascuna bottiglia è stata insufflata una miscela di H₂/O₂/CO₂ in rapporto volumetrico 65/20/15 [13] fino ad una pressione iniziale nella bottiglia pari a 1.5 bar. L'arricchimento è stato successivamente incubato ad una temperatura di 30 °C ed agitato ad una velocità di 600 rotazioni per minuto (rpm). Dopo 5 settimane di arricchimento in cui il liquido di coltura e la composizione dello spazio di testa sono stati periodicamente diluiti e ripristinati, rispettivamente, la coltura ha mostrato una crescita stabile e riproducibile. L'arricchimento di HOB è stato successivamente utilizzato per condurre tre differenti serie di test di fermentazione aerobica in batch, ognuna delle quali finalizzata a valutare l'effetto di specifiche composizioni del syngas in diverse condizioni operative. Nella prima serie

di test, tre brevi (48 ore) test di screening sono stati condotti per valutare l'effetto di miscele di syngas caratterizzate da diversi rapporti $\rm H_2/CO_2$ (2 – 4.3 – 10), concentrazioni di $\rm H_2S$ da 2000 a 8000 ppmv, e concentrazioni di $\rm CO$ dal 10 al 40% v/v. Nella seconda serie di test in batch, gli effetti di concentrazioni di $\rm CO$ pari al 10 e al 40% v/v, nonché quelli di una condizione mista con concentrazioni di $\rm CO$ al 10% v/v e $\rm H_2S$ pari a 2000 ppmv, sono stati valutati per una durata totale di 30 giorni, con diluizione e rispristino delle fasi liquida e gassosa in ciascuna bottiglia una volta ogni 48 – 96 ore. Un terzo ed ultimo test in batch della durata di 96 ore è stato successivamente condotto allo scopo di osservare gli effetti di concentrazioni di $\rm CO$ al 10 e al 40% v/v mantenendo invariate le concentrazioni iniziali di $\rm H_2$ in ciascuna bottiglia (evitando così il verificarsi di condizioni di limitazione di $\rm H_2$). Per favorire la produttività volumetrica di biomassa, solo il 7.5% del liquido di coltura è stato scambiato con medium fresco ogni giorno, mentre il substrato gassoso nello spazio di testa è stato quotidianamente ripristinato.

2.2 Risultati e discussione

2.2.1 Test batch a breve termine (prima serie)

I test in batch a breve termine della prima serie di esperimenti hanno consentito l'osservazione preliminare della performance dell'arricchimento di HOB in presenza di composizioni variabili di syngas (**Tabella 1**). Nessuna differenza è stata osservata per rapporti H₂/CO₂ variabili tra 2 e 10, in termini di concentrazione e resa di biomassa (0.53 – 0.57 g SSV/L e 0.14 – 0.16 g SSV/g H₂-COD, rispettivamente), così come per il contenuto proteico della biomassa (62 – 66 %VSS) ed il consumo di H₂ (83 – 87 %). È interessante notare che, per H₂/CO₂ = 10, un consumo di CO₂ significativamente maggiore (90 %) è stato osservato, suggerendo che rapporti H₂/CO₂ più elevati possono indurre un più efficiente recupero della CO₂ dal syngas sottoforma di MP. Sono stati osservati valori simili anche con l'aggiunta di H₂S e CO, senza significative differenze per concentrazioni rispettivamente fino a 4000 ppmv e 40 % v/v, dimostrando quindi una notevole resistenza dell'arricchimento di HOB nei confronti di questi inibenti. Neanche il contenuto proteico della biomassa è stato influenzato da H₂S o CO, con concentrazioni di proteine nella biomassa variabili nei range 39 – 56 %SSV e 53 – 59 %SSV nei rispettivi test.

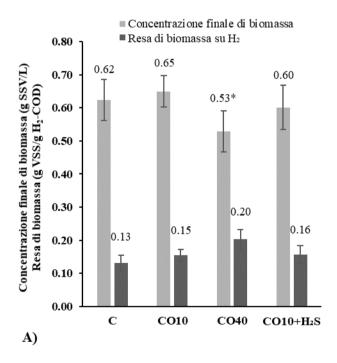
	H ₂ /CO ₂		H ₂ S (ppmv)		CO (% v/v)	
	2, 4.3	10	0 – 4000	6000, 8000	0 – 30	40
Consumo di H ₂ (%)	83 – 87		85 – 97	11* - 0*	82 – 94	
Consumo di CO ₂ (%)	30 – 53	90*	47 – 62	0*	34 – 58	
Concentrazione finale di biomassa (g SSV/L)	0.53 – 0.57		0.57 – 0.64	0.09* - 0.17*	0.54 – 0.59	0.43*
Resa di biomassa su H ₂ (g SSV/g H ₂ -COD)	0.14 – 0.16		0.13 – 0.17	n.c.	0.13 - 0.20	
Contenuto di proteine nella biomassa (%SSV)	62 – 66		39 – 56		53 – 59	

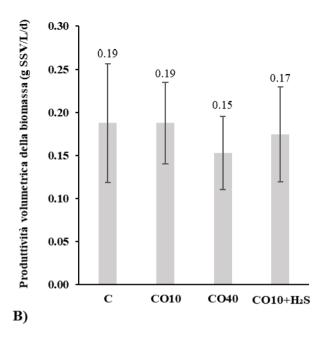
^{*:} valore statisticamente diverso (p-value < 0.05); n.c.: non calcolato per via della trascurabile crescita di biomassa.

Tab. 1. - Principali risultati dei test batch a breve termine.

2.2.2 Test batch a lungo termine (seconda serie)

Durante i test in batch a lungo termine della seconda serie di esperimenti, nessun segno di inibizione è stato osservato con concentrazioni di CO pari al 10 e al 40% v/v (condizioni CO10 e CO40, rispettivamente), così come per la simultanea esposizione a CO e H.S in concentrazioni pari al 10% v/v e a 2000 ppmv, rispettivamente (condizione CO10+H,Š) (Figura 1). Il contenuto proteico della biomassa è rimasto simile in ogni condizione per l'intera durata del test (45-65 %SSV). La resa di biomassa sull'idrogeno in condizione CO40 è stata significativamente più alta rispetto a quelle osservate nelle altre condizioni, probabilmente per via di condizioni di limitazione di H, verificatesi in presenza di un minore apporto iniziale di H, L'analisi della composizione microbiologica della coltura mista di HOB prima e dopo i test a lungo termine ha rivelato il ruolo determinante svolto dalla presenza di HOB potenzialmente carboxidotrofi nella coltura. Essi potrebbero aver fornito alla coltura mista un elevato grado di resistenza nei confronti di CO, come mai mostrato prima d'ora in letteratura per colture pure di HOB. L'arricchimento iniziale è risultato essere composto prevalentemente da batteri rappresentativi del genere Paracoccus (abbondanza relativa del 31.5%), capaci di resistere a concentrazioni di CO fino al 10% v/v, ma inibiti da concentrazioni di CO pari al 40% v/v. HOB potenzialmente CO-tolleranti, come Advenella Kashmirensis, Hydrogenophaga e Xanthobacter Autotrophicus sono risultati invece apparentemente favoriti dall'elevata concentrazione di CO.





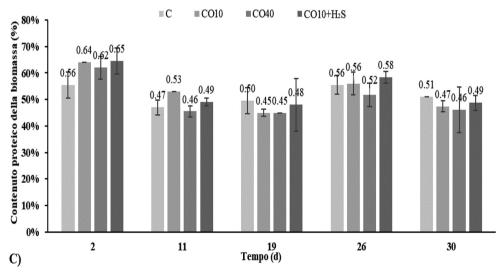


Fig. 1 – Performance della coltura di HOB durante i test batch a lungo termine. I risultati sono espressi in termini di: A) concentrazione finale di biomassa media e resa di biomassa media; B) produttività volumetrica di biomassa media; C) contenuto proteico della biomassa. *: valore statisticamente diverso (p-value < 0.05).

2.2.3 Effetti di CO sulla massima produttività volumetrica, concentrazione e resa di biomassa (terza serie)

Nel presente test, grazie al ripristino giornaliero del substrato gassoso e alla minore diluizione della coltura, una massima produttività volumetrica di biomassa pari a 0.37 g SSV/L/d, equivalente a 13 mg SSV/L/h, è stata ottenuta durante le prime 72 ore in condizione CO10 (**Figura 2**). Questo valore di produttività volumetrica, statisticamente simile a quelli ottenuti nelle

condizioni C e CO40, è risultato più alto del 34% rispetto al massimo valore registrato durante i test batch a lungo termine (0.28 g SSV/L/d). Un simile valore di produttività volumetrica di biomassa (11 – 12 mg SSV/L/h) è stato riportato per una coltura pura di *Paraccoccus denitrificans Y5* in simili condizioni di crescita in batch, ma in assenza di CO [14]. Inoltre, un simile valore (11 mg SSV/L/h) è stato osservato anche con una coltura pura di *Cupriavidus necator H16* in condizioni batch senza CO [11]. Tuttavia, nello stesso studio si riporta un drastico calo della produttività volumetrica per la stessa coltura a 4 mg SSV/L/h in presenza di CO al 30 % v/v. In termini di resa di biomassa sull'idrogeno, i risultati ottenuti non hanno mostrato alcuna differenza statisticamente significativa tra i test (**Figura 2**), confermando quindi che le maggiori rese di biomassa osservate in presenza di CO al 40 % v/v nei test in batch a lungo termine (sezione 2.2.2) erano molto probabilmente dovute esclusivamente al verificarsi di condizioni di limitazione di H₂.

Un massimo contenuto di proteine nella biomassa pari al 74 %SSV è stato osservato durante il test, con valori simili per ciascuna condizione testata, dall'inizio alla fine del test.

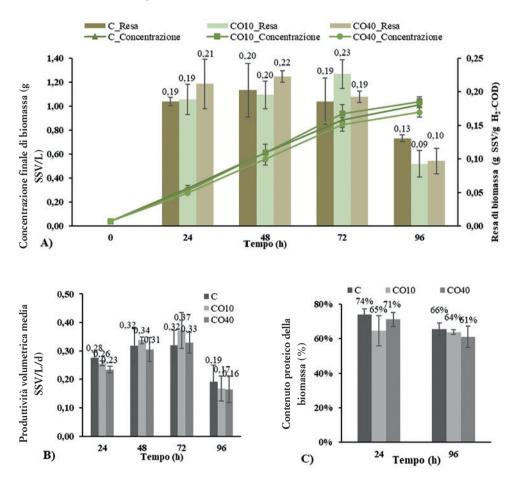


Fig. 2 – Performance della coltura di HOB durante i test batch sull'effetto di CO sulla massima produttività volumetrica, concentrazione e resa di biomassa. I risultati sono espressi in termini di: A) concentrazione finale e resa di biomassa; B) produttività volumetrica di biomassa media; C) contenuto proteico della biomassa. *: valore statisticamente diverso (p-value < 0.05).

3. Conclusioni

Complessivamente, i risultati ottenuti suggeriscono che la fermentazione aerobica del syngas ad opera di colture miste di HOB potrebbe essere condotta direttamente su syngas grezzo, ottenuto da pirolisi di fanghi municipali, contenente rapporti variabili di H₂/CO₂ e concentrazioni realistiche di H₂S e CO, senza necessità di spinti pretrattamenti, con performance elevate e stabili nel tempo, anche per lunghi periodi, consentendo la produzione di MP con contenuto proteico fino al 74 %SSV. L'utilizzo di una coltura mista di HOB ha consentito di superare i limiti intrinsecamente connessi all'impiego di colture pure, dimostrando come la coesistenza di meccanismi metabolici differenti conferisca maggiore robustezza e versatilità alla coltura. Questi risultati potrebbero avere implicazioni notevolmente positive sui costi e sulla fattibilità tecnica di una strategia "Syngas-to-MP" applicata al trattamento e alla valorizzazione dei fanghi di depurazione civili.

Bibliografia

- [1] **European Commission**, European Commission, Eurostat, 'Sewage sludge production and disposal from urban wastewater (in dry substance (d.s))' (ten00030), 2022, accessed 2023-09-12, (2022).
- [2] ISPRA, ISPRA, 'Rapporto Rifiuti Speciali 2023', 2023. Accessed: Sep. 07, 2023. [Online], 2023.
- [3] X. Sun, H.K. Atiyeh, R.L. Huhnke, R.S. Tanner, Syngas fermentation process development for production of biofuels and chemicals: A review, Bioresour Technol Rep. 7 (2019) 100279.
- [4] M. Areniello, S. Matassa, G. Esposito, P.N.L. Lens, Biowaste upcycling into second-generation microbial protein through mixed-culture fermentation, Trends Biotechnol. (2022).
- [5] S. Matassa, S. Papirio, I. Pikaar, T. Hülsen, E. Leijenhorst, G. Esposito, F. Pirozzi, W. Verstraete, Upcycling of biowaste carbon and nutrients in line with consumer confidence: the "full gas" route to single cell protein, Green Chemistry. 22 (2020) 4912–4929.
- [6] N. Gao, J. Li, B. Qi, A. Li, Y. Duan, Z. Wang, Thermal analysis and products distribution of dried sewage sludge pyrolysis, J Anal Appl Pyrolysis. 105 (2014) 43–48.
- [7] R. Han, C. Zhao, J. Liu, A. Chen, H. Wang, Thermal characterization and syngas production from the pyrolysis of biophysical dried and traditional thermal dried sewage sludge, Bioresour Technol. 198 (2015) 276–282.
- [8] **S. Matassa, N. Boon, W. Verstraete**, Resource recovery from used water: The manufacturing abilities of hydrogen-oxidizing bacteria, Water Res. 68 (2015) 467–478..
- [9] A. Jaramillo-Arango, I. Fonts, F. Chejne, J. Arauzo, Product compositions from sewage sludge pyrolysis in a fluidized bed and correlations with temperature, J Anal Appl Pyrolysis. 121 (2016) 287–296.
- [10] S. Xiong, J. Zhuo, B. Zhang, Q. Yao, Effect of moisture content on the characterization of products from the pyrolysis of sewage sludge, J Anal Appl Pyrolysis. 104 (2013) 632–639.
- [11] Y. Jiang, X. Yang, D. Zeng, Y. Su, Y. Zhang, Microbial conversion of syngas to single cell protein: The role of carbon monoxide, Chemical Engineering Journal. 450 (2022) 138041.
- [12] **J. Yu, A. Dow, S. Pingali,** The energy efficiency of carbon dioxide fixation by a hydrogen-oxidizing bacterium, Int J Hydrogen Energy. 38 (2013).
- [13] **S. Matassa, W. Verstraete, I. Pikaar, N. Boon**, Autotrophic nitrogen assimilation and carbon capture for microbial protein production by a novel enrichment of hydrogen-oxidizing bacteria, Water Res. 101 (2016) 137–146.
- [14] **J. Dou, Y. Huang, H. Ren, Z. Li, Q. Cao, X. Liu, D. Li,** Autotrophic, Heterotrophic, and Mixotrophic Nitrogen Assimilation for Single-Cell Protein Production by Two Hydrogen-Oxidizing Bacterial Strains, Appl Biochem Biotechnol. 187 (2019) 338–351.

Da rifiuto a risorsa: esperienze e proposte da ARPA Campania ed ARPA Lombardia

Marco Ciccarelli m.ciccarelli@arpacampania.it – ARPA Campania dipartimento di Napoli Nadia Fibbiani n.fibbiani@arpalombardia.it – ARPA Lombardia dipartimento di Como-Varese Lorena Cozzi – ARPA Lombardia dipartimento di Como-Varese Roberta Meroni – ARPA Lombardia dipartimento di Como-Varese

Riassunto

In un'economia circolare che abbia al centro la tutela dell'ambiente è fondamentale il punto di vista delle Agenzie ambientali nell'ottica di una crescente sinergia pubblico-privato e di una cultura ambientale condivisa, dai compiti istituzionali alle proposte di miglioramento. L'obiettivo dell'intervento è illustrare l'attività effettuata da ARPA Campania ed ARPA Lombardia nell'ambito della gestione dei rifiuti e degli "End of Waste", dalle norme applicative ai casi pratici. Per il recupero dei rifiuti è essenziale il ruolo delle Agenzie ambientali che sono coinvolte in molteplici attività, dai pareri in fase di autorizzazione ai controlli sul campo, in autonomia, su convenzione o in sinergia con le polizie giudiziarie. Tra gli approcci innovativi c'è l'utilizzo dei droni per il contrasto agli ecoreati. Sono oggetto, dunque, di approfondimento le buone pratiche per velocizzare i procedimenti e per ottimizzare l'attività di controllo, nell'ottica del miglioramento continuo e di una visione del rifiuto come risorsa.

Summary

The aim of this work is to illustrate some activities carried out by ARPA Campania and ARPA Lombardia about waste and "End of Waste" management, from norms application to practical cases. For the recovery of waste, ARPA is involved in multiple, from technical opinions during the authorization phase to inspections also in agreement or synergy with the judicial police.

One of the innovative approach is the use of drones to combat eco-crimes.

Good practices for speeding up procedures and optimizing control activities are the object of deepening, for a continuous improvement and for a vision of waste as a resource.

1. Introduzione

Il decreto legge 77/2021, convertito con Legge n. 108/2021, ha modificato il comma 3 dell'art. 184-ter del D. lgs. 152/2006 [1] ed ha introdotto nella procedura di rilascio dei provvedimenti autorizzativi di cui agli articoli 208, 209 e 211 e di cui all'articolo 29-quater del titolo III bis della Parte Seconda del D.Lgs. 152/06 un "parere obbligatorio e vincolante dell'ISPRA o dell'Agenzia regionale per la protezione ambientale territorialmente competente" nei casi di produzione di End of Waste caso per caso, pertanto, le Agenzie si sono trovate strettamente coinvolte nel processo autorizzativo.

In base alla Legge istitutiva di ARPA Lombardia (L.R. n. 16 del 1999 e s.m.i.), l'Agenzia esprime pareri per il rilascio delle autorizzazioni "ove richiesto dalle relative norme di legge; sulla base di specifiche convenzioni, l'attività tecnica dell'ARPA può sostituire l'attività istruttoria

dell'ente procedente". Il d.lgs. 152/06 e le Leggi Regionali non prevedono pareri di ARPA per il rilascio di autorizzazioni agli impianti di gestione rifiuti, se non la redazione del parere per le aziende dotate di A.I.A. di cui all'art. 29-quater c.6 del d.lgs. 152/2006 e s.m.i. "parere delle Agenzie regionali e provinciali per la protezione dell'ambiente, per le altre installazioni, per quanto riguarda le modalità di monitoraggio e controllo degli impianti e delle emissioni nell'ambiente", nonchè per gli impianti sperimentali di cui all'Art. 211 del d.lgs. 152/2006 e s.m.i.. ARPAC invece, oltre al parere A.I.A. sopra citato, rilascia per le aziende di cui all'art. 208 del

Per quanto riguarda i controlli, fatte salve le competenze delle Agenzie regionali in ambito A.I.A. (art. 29-decies c.3 del d.lgs. 152/2006 e s.m.i.), in Lombardia gli impianti di gestione rifiuti non AIA sono oggetto di controllo da parte delle Province (Art. 197 del d.lgs. 152/2006 e s.m.i.).

d.lgs. 152/2006 un parere per la Regione Campania.

Dal giugno 2019 è stata stipulata una convenzione tra il Ministero dell'ambiente, ISPRA e le Agenzie regionali / provinciali per incrementare il numero di controlli di impianti rifiuti non AIA (ex Art. 216 – semplificate o ex Art. 208 – ordinarie). ARPAC e ARPA Lombardia partecipano alla convenzione e trasmettono regolarmente ad ISPRA gli esiti dei controlli. Localmente in Lombardia sono state stipulate ulteriori convenzioni con le Province per effettuare ulteriori controlli su queste tipologie di aziende.

La modifica dell'art. 184-ter del D. lgs. 152/2006 sopra citata, ha introdotto anche un sistema di controlli a campione degli impianti che producono E.o.W. "caso per caso" (c. 3-ter) che vede coinvolte tutte le Agenzie regionali / provinciali.

Altri controlli sono invece effettuati sugli impianti di gestione rifiuti, sia da ARPA Lombardia che da ARPA Campania, nell'ambito di richieste di altri organi di Polizia Giudiziaria oppure a seguito di emergenze o su richiesta della Autorità Giudiziaria.

2. Relazione

In generale, nell'ambito di rifiuti ed End of Waste il quadro normativo si presenta complesso ed in continua evoluzione, tuttavia, esistono degli strumenti che vanno nella direzione di semplificare e velocizzare i procedimenti autorizzativi.

Nello specifico degli End of Waste, al fine di rendere uniforme l'attività delle diverse Agenzie sul territorio nazionale, sono state emanate le linee guida SNPA (23/2020), successivamente revisionate in seguito a cambiamenti normativi fino alla pubblicazione delle "Linee guida per l'applicazione della disciplina End of Waste di cui all'art. 184-ter comma 3 ter del D. lgs. 152/2006. Revisione gennaio 2022 – Linee guida SNPA 41/22" [2].

La normativa comunitaria e nazionale disciplinano solo alcune tipologie di End of Waste, pertanto sono numerosi i casi in cui si ricade nel campo di applicazione del comma 3 dell'art. 184-ter.

Di seguito sono illustrate le peculiarità relative alle attività effettuate da ARPA Campania ed ARPA Lombardia nell'ambito degli End of Waste (pareri e controlli) e dei controlli sugli impianti gestione rifiuti, partendo dalle norme applicative, fino ai casi pratici, evidenziando esperienze e criticità.

2.1 Il procedimento autorizzativo End of Waste caso per caso: l'esperienza di ARPAC

L'esperienza di ARPAC mostra come strumenti come le linee guida del Sistema nazionale per la protezione dell'ambiente (SNPA) abbiano bisogno di una maggiore diffusione tra gli operatori del settore.

Al fine di uniformare dunque i procedimenti su scala nazionale e stare al passo con l'evoluzione della norma occorre necessariamente che la documentazione sia pienamente conforme a quanto previsto dall'art. 184-ter (attualmente in vigore).

Pertanto, al fine di agevolare l'iter istruttorio per la predisposizione del parere si ritiene opportuno che il proponente, sin dalla "fase preliminare", accompagni l'istanza di autorizzazione con un'apposita relazione tecnica End of Waste utilizzando puntualmente lo schema della tabella 4.1 delle linee guida, in particolare facendo riferimento ai "contenuti minimi" dell'istanza.

In merito alla tabella 4.3 delle suddette linee guida "diverse tipologie di cessazione della qualifica di rifiuto negli atti autorizzativi caso per caso" è utile che il proponente effettui un puntuale e dettagliato confronto con le norme vigenti. Per una trasparente valutazione il proponente deve mettere a confronto in una tabella la proposta con quanto previsto, ad esempio, dal D.M. 05/02/1998 e s.m.i. [3] per evidenziare gli eventuali scostamenti.

Se correttamente compilata la tabella 4.3 circoscrive il ruolo dell'Ente di controllo alla verifica solo di precise "condizioni" e "criteri dettagliati" previsti dall'art. 184-ter.

Si osserva che la documentazione da presentare per la gestione del processo End of Waste necessita di specifiche note tecniche (allegati/procedure). Per rendere ulteriormente agevole e veloce l'iter istruttorio si richiama ad una applicazione fedele delle linee guida, curando ogni dettaglio. Nei diversi iter istruttori E.o.W. caso per caso, in base a quanto prescritto dall'art. 184 ter del D.lgs. 152/2006 e descritto nelle linee guida SNPA per l'applicazione della disciplina End Of Waste (41/22), si è rilevato che spesso la documentazione fornita dalle ditte risulta incompleta e non corrispondente alle suddette linee guida, pertanto, si rendono quasi sempre necessarie richieste di integrazioni da parte di ARPAC.

Spesso non sono presenti tutti i contenuti minimi e le procedure previste dalle linee guida (tabella 4.1) ad esempio una procedura di accettazione rifiuti ed in particolare in relazione ai codici a specchio per cui la norma prevede verifiche analitiche di "non pericolosità".

Talvolta viene dichiarata l'adozione di un sistema di gestione ma senza i seguenti contenuti minimi secondo le suddette linee guida SNPA:

- procedura per la gestione e lo stoccaggio dei rifiuti in attesa di verifica della conformità per la cessazione della qualifica di rifiuto dell'EoW;
- procedura per la qualifica e l'addestramento del personale addetto all'accettazione e movimentazione dei rifiuti;
- procedura di gestione delle non conformità sui rifiuti in ingresso e sul prodotto in uscita.

ARPAC richiede dunque procedure non generiche ma che dimostrino la reale ed effettiva applicazione delle norme attraverso, ad esempio, una gestione adeguata degli spazi ed un'efficace formazione del personale per riconoscere rifiuti/prodotti non conformi.

Particolare attenzione viene posta nella definizione di un preciso protocollo analitico e nel modello della dichiarazione di conformità.

Fondamentale è la valutazione dell'ammissibilità di ogni singolo codice E.E.R. per la specifica produzione di prodotti da immettere sul mercato. Per ciascun codice E.E.R. viene sempre richiesto un approfondimento sulla provenienza con una completa descrizione delle caratteristiche del rifiuto e del processo che lo ha generato.

Regione Campania ha recepito fin da subito le linee guida SNPA e condivide con ARPAC l'esigenza di darne una maggiore diffusione. In quest'ottica ha organizzato nel corso del 2023 un ciclo di workshop di approfondimento sull'economia circolare con al centro la tematica End of Waste.

2.2 Il procedimento autorizzativo End of Waste caso per caso ed i controlli: l'esperienza di ARPA Lombardia

In seguito alla modifica dell'art. 184-ter co.3 del D.Lgs 152/06 introdotta dalla D.L. n.77/2021 che prevede un parere obbligatorio e vincolante di ARPA nei procedimenti autorizzatori di

cui agli articoli 208, 209 e 211 e di cui al titolo III-bis della parte seconda del TUA, Regione Lombardia ha fornito precise indicazioni di coinvolgimento di ARPA per il rilascio del parere obbligatorio e vincolante, anche in relazione alle linee guida SNPA, attraverso la D.d.s n.12584 del 23/09/2021, al fine di assicurare standard elevati ed omogenei sul territorio di tutela dell'ambiente e della salute, nell'applicazione dei criteri generali stabiliti dell'art. 184-ter del d.lgs. n. 152/2006. Lo scopo della D.d.s. è inoltre fornire supporto alle Autorità competenti e favorire la semplificazione dei procedimenti, nonché dare un quadro di riferimento certo e comune agli operatori, al fine di favorire una gestione dei rifiuti maggiormente circolare, con la piena applicazione della cessazione della qualifica di rifiuto [4].

La D.d.s. n. 12584/2021 chiarisce in quali casi deve essere richiesto il parere obbligatorio e vincolante di ARPA come previsto dall'art. 184-ter del D.Lgs. 152/2006 per il rilascio o il rinnovo dell'autorizzazione End of Waste. In sintesi, il parere ARPA dovrà essere richiesto solo nel caso di autorizzazioni ordinarie che includano un End of Waste caso per caso, qualora non siano vigenti specifici regolamenti comunitari, decreti ministeriali o criteri nazionali o Linee Guida regionali End of Waste – caso per caso. Qualora l'Azienda dovesse seguire pedissequamente le indicazioni del D.M. 5/02/1998 e s.m.i. il parere non sarà dovuto. La D.d.s. n. 12584/2021 ha inoltre stabilito un modello di dichiarazione di conformità da seguire.

Contestualmente all'emanazione della D.d.s. regionale, ARPA Lombardia ha ritenuto utile costruire strumenti, procedure e gruppi di lavoro interni che coinvolgessero sia il Settore centrale di coordinamento sia le sedi territoriali, per la gestione coordinata e uniforme sul territorio della procedura di espressione del parere e per la formulazione di indirizzi tecnici comuni per specifiche categorie merceologiche. Le informazioni correlate alle diverse richieste di parere convergono al Settore Attività Produttive e Controlli che svolge appunto attività di coordinamento e supervisione, nonché tiene i rapporti con il Ministero, ISPRA e la Regione, che a sua volta si interfaccia con le Autorità Competenti (Province). Al momento, sono stati redatti indirizzi tecnici per: aggregati riciclati, gessi da defecazione, compostaggio. Tali indirizzi tecnici sono condivisi da ARPA con il tavolo regionale delle Province, al fine di lavorare in maniera sinergica e condivisa con le Autorità Competenti. Il tavolo regionale delle Province, coordinato e convocato da Regione con cadenza mensile, costituisce un utile momento di interscambio di informazioni, dubbi e perplessità sull'applicazione della normativa ambientale, e in particolare della materia End of Waste.

È in corso anche una attività di informazione / formazione interna per divulgare gli aggiornamenti normativi e le procedure da seguire.

ARPA ha inoltre supportato Regione Lombardia nella messa a punto della modulistica per l'istanza End of Waste caso per caso (attualmente in fase di approvazione), al fine di uniformare i contenuti delle domande per rendere più celeri le risposte.

Si evidenziano inoltre, in questo campo, i numerosi interpelli fatti al Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, a riprova della complessità della materia.

L'art.183 ter co.3 ha previsto inoltre l'introduzione di un sistema di controlli delle autorizzazioni rilasciate End of Waste caso per caso. In Lombardia, ARPA verifica: la conformità dell'attività svolta rispetto all'atto autorizzativo legato alla gestione dei rifiuti e agli aspetti ambientali connessi e le condizioni e i criteri dettagliati dell'Art. 184 ter comma 1 e comma 3 del D.Lgs.152/06, ivi compreso l'uso specifico e le norme tecniche applicabili. Mentre ATS, quale Autorità competente, verifica gli aspetti relativi ai Regolamenti REACH e CLP e, in particolare, gli adempimenti in capo alle ditte in qualità di "fabbricanti". Si stanno organizzando le prime ispezioni congiunte ARPA – ATS in materia di End of Waste.

L'esperienza di ARPA Lombardia dal 2021 ad oggi ha evidenziato diverse criticità nel rilascio dei pareri obbligatori e vincolanti:

l'eterogeneità della sostanza o dell'oggetto che cessa la qualifica di rifiuto – End of Waste "caso per caso" richieste dai singoli istanti comporta una difficoltà nel rilasciare pareri che garantiscano l'uniformità territoriale;

la non chiara identificazione dei processi/trattamenti di cessazione della qualifica di rifiuto e degli usi specifici degli End of Waste prodotti;

la non chiara identificazione degli standard tecnico-prestazionali del prodotto; spesso i proponenti non individuano le norme tecniche di riferimento e/o anche i parametri specifici che ciascun End of Waste prodotto deve rispettare per essere considerato tale;

la difficoltà di formulare prescrizioni adeguate e più omogenee possibili: ad esempio, disciplinare le tempistiche di deposito dei prodotti ottenuti in considerazione delle caratteristiche degli End of Waste caso per caso così eterogenee e delle dinamiche di mercato molto complesse; l'adozione di Sistemi di Gestione poco adeguati e carenti di procedure operative, a volte, comporta una difficile interpretazione e la difficoltà di garantire la tracciabilità del rifiuto dal momento del conferimento in impianto fino alla produzione del End of Waste prodotto;

la carenza di informazioni nelle istanze presentate dagli impianti proponenti. In questi casi è necessaria la richiesta di documentazione integrativa, che porta inevitabilmente all'allungamento dei tempi procedimentali.

Nell'ambito dei controlli nelle Ditte che producono gli End of Waste caso per caso le prime criticità per ora emerse sono: la valutazione della tracciabilità rifiuto – End of Waste prodotto e la frammentazione delle competenze in ambito di controllo (Reach-CLP: ATS – Aspetti Ambientali: ARPA).

Oltre ai controlli in convenzione citati in premessa, ARPA Lombardia effettua controlli sui rifiuti transfrontalieri inerti, ovvero terre e rocce (EER 17 05 04) e rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione (EER 17 09 04) provenienti dal Canton Ticino – Svizzera e diretti nelle cave lombarde per recupero R10 (Trattamento in ambiente terrestre a beneficio dell'agricoltura o dell'ecologia) o R5 (Riciclaggio/recupero di altre sostanze inorganiche). Questo tipo di controllo è nato nel 2016 come Progetto CO.M.E.T.A. (COntrollo Materiali Esteri Transfrontalieri Autorizzati), conclusosi col 2019, e prosegue, ad oggi, come attività dell'Agenzia, così come richiesto dalla Regione, quale A.C. in materia di rifiuti transfrontalieri.

Il Progetto era stato affidato da Regione Lombardia al dipartimento di Como-Varese, in quanto le spedizioni di tali rifiuti interessano prevalentemente gli impianti situati nelle due province confinanti col Canton Ticino. L'attività di ARPA Lombardia si attua mediante controlli, documentali, sopralluoghi e campionamenti, direttamente sugli impianti destinatari dei rifiuti, autorizzati alle operazioni di recupero R10 o R5, come definiti nel Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n.152 e s.m.i., che vengono trasportati e gestiti ai sensi del Regolamento Europeo 1013/2006 [5].

Altra tipologia di controllo svolta da ARPA Lombardia riguarda lo spandimento di rifiuti costituiti da fanghi biologici in agricoltura ai sensi del d.lgs. 99/92 e norme regionali. Questa attività è svolta di iniziativa di ARPA e in convenzione con la Provincia di Pavia e Cremona in quanto ritenuta estremamente rilevante in quei territori.

Per valutare la conformità ai provvedimenti autorizzativi degli impianti di gestione rifiuti (A.I.A. e non A.I.A.), in particolare il corretto utilizzo delle aree ed i volumi di rifiuti in deposito, e per supportare altri organi di Polizia Giudiziaria nell'ambito delle proprie indagini, negli ultimi anni si sta operando con l'ausilio della geospatial intelligence e dei droni. In particolare, si ricorre all'utilizzo ed all'analisi di immagini dall'alto georeferenziate, nello spettro del visibile e prodotte dall'osservazione della terra dal cielo per mezzo di satelliti, aerei, elicotteri e droni. ARPA Lombardia, in merito, ha stipulato contratti mirati e attivato convenzioni, inoltre l'Agenzia si è dotata di diverse tipologie di droni ed ha formato ad oggi circa una trentina di piloti, operanti sul territorio regionale.

3. Conclusioni

In materia di pareri End of Waste a circa due anni dalla modifica normativa dell'art. 184 ter del D.lgs. 152/2006 e smi, sia ARPAC che ARPA Lombardia si sono attivate, sia a livello nazionale con le altre agenzie ed ISPRA, sia a livello locale, per fronteggiare questa nuova richiesta.

Alla luce delle osservazioni sopra esposte, emerge come criticità prevalente una carente, disomogenea, dispersiva o troppo generica documentazione presentata da parte del proponente. Questo comporta un tempo fisiologico di esame della pratica e, in molti casi, successive richieste di integrazioni da parte di ARPA al fine di poter analizzare i processi nel dettaglio e poter esprimere i pareri di competenza; di conseguenza i tempi procedimentali per il rilascio delle autorizzazioni si dilatano. Per una fedele applicazione della disciplina End of Waste, è necessario quindi che il proponente presenti fin dalla primissima fase del procedimento autorizzativo la documentazione in maniera pienamente conforme alle più recenti linee guida SNPA, oppure in accordo con le specifiche linee guida regionali, quando saranno vigenti.

Un altro aspetto critico è l'omogeneità dei pareri espressi dalle Agenzie a livello regionale e nazionale. Su questo aspetto già sono stati istituiti tavoli tecnici sia a livello regionale che nazionale; sono state coinvolte anche le Autorità Competenti e in alcuni casi le associazioni di categoria.

La valutazione finale dell'End of Waste deve necessariamente essere in linea con le valutazioni espresse dalle diverse agenzie ambientali per un'uniforme applicazione della norma su scala nazionale, per cui sono auspicabili sempre maggiori confronti e tavoli tecnici tra i tecnici delle Agenzie e gli altri soggetti interessati per la predisposizione di linee di indirizzo su specifici prodotti derivanti dal processo di cessazione di qualifica del rifiuto. In questo senso, anche indirizzi ministeriali sarebbero auspicabili ed indispensabili. Non da ultimo, è importante la formazione degli operatori del settore e i tecnici delle Agenzie ambientali che devono sempre essere tenuti aggiornati su una normativa in continua evoluzione.

Infine, si sottolinea il ruolo dell'attività di controllo presso gli impianti di gestione rifiuti, che deve essere considerato dal Gestore anche come un'occasione di confronto ed apprendimento, al fine di perseguire l'obiettivo del miglioramento continuo della propria attività.

Bibliografia

- [1] Decreto legislativo 3 aprile 2006, n.152 e s.m.i.
- [2] Linee guida per l'applicazione della disciplina End of Waste di cui all'art. 184-ter comma 3 ter del D. lgs. 152/2006. Revisione gennaio 2022 Linee guida SNPA 41/22.
- [3] Decreto Ministero Ambiente 5 febbraio 1998 e s.m.i.
- [4] **D.d.s. 23 settembre 2021 n. 12584**. Approvazione indicazioni relative all'applicazione dell'art.184-ter a seguito delle modifiche apportate con d.l. n. 77/2021 e legge di conversione n. 108 del 28 luglio 202
- [5] Regolamento (CE) n. 1013/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio relativo alle spedizioni di rifiuti (G.U.U.E. 12 luglio 2006, n. L 190).

Soluzioni per la prevenzione, gestione e monitoraggio dei resi nel settore cosmetico

<u>Elisa Amodeo elisa.amodeo@inventolab.it</u>, Dream Cazzaniga, Giulia Houston, Giulia Detomati – InVento Lab, Milano Federica Mirani – Yves Rocher Italia, Milano

Riassunto

I resi sono un problema notevole per le aziende di distribuzione e vendita di prodotti a causa degli impatti ambientali generati. Yves Rocher Italia (YRI), nota società cosmetica che si avvale di un canale di vendita misto composto da negozi e rete di vendita territoriale, ha deciso di affrontare il problema, attraverso un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) partecipato, applicando la Multi-Criteria-Analysis (MCA), un metodo formalizzato per giungere a conclusioni di sintesi rispetto alla scelta tra alternative e criteri conflittuali. Questo ha consentito di: fornire ai decisori le informazioni necessarie e stabilire le priorità, gestire il conflitto e rendere trasparente e ripercorribile la decisione, aumentare l'accettazione del risultato finale grazie alla partecipazione dei dipartimenti coinvolti. Il processo guidato da InVento Innovation Lab ha previsto, con il gruppo di lavoro di YRI, diversi momenti di confronto e condivisione e un workshop da cui sono emerse alcune alternative "vincenti". Tali alternative fanno ora parte della roadmap Benefit di YRI e alla fine del 2023 si potranno verificare i primi risultati.

Summary

Returns are a major issue for product distribution and sales companies, due to the environmental impacts generated. Yves Rocher Italia (YRI), a well-known cosmetic company that operates through a mixed sales channel which combines single-brand stores and a local sales network, has decided to address the issue, through a participatory Decision Support System (DSS) by applying the Multi-Criteria-Analysis (MCA), a formalized method for reaching synthetic conclusions regarding the choice between alternative courses of action and conflicting criteria. This allowed to: provide decision-makers with the necessary information and establish priorities, manage conflict and make the decision transparent and traceable, increase acceptance of the final result thanks to the participation of all departments involved. The process led by InVento Innovation Lab included, together with the YRI working group involved, a number of moments of discussion and exchange, and a workshop that led to the determination of the "winning" alternative actions. These alternatives are now part of YRI's Benefit roadmap and the first results can be verified at the end of 2023.

1. Introduzione

Il problema della gestione dei resi è legato ad un alto impatto ambientale per trasporti e logistica, produzione eccessiva di rifiuti, sovrapproduzione quindi sfruttamento della materia prima. Secondo il report *Consumer Returns in the Retail Industry 2020* [1], circa il 10% dei prodotti venduti negli Stati Uniti viene restituito ogni anno, con circa \$428 miliardi di perdite per i venditori al dettaglio degli Stati Uniti. Inoltre, "i resi negli Stati Uniti creano da soli 5 miliardi

di chili di rifiuti in discarica e 15 milioni di tonnellate di emissioni di carbonio all'anno, equivalenti alla quantità di spazzatura prodotta da 5 milioni di persone in un anno. Nell'UE, nel 2016 il totale dei rifiuti derivanti dal packaging ha quasi raggiunto 87 milioni di tonnellate, pari a circa 170 kg per persona"[2].

I principali problemi ambientali causati dai resi sono correlati a 4 principali fattori [1]:

- **Trasporti e logistica:** a cui sono legati dispendi energetici, emissioni di CO2 e altri inquinanti atmosferici, disturbo acustico e incidentalità;
- Confezionamento: a cui è legata la produzione eccessiva di packaging, nei migliori dei casi riciclabili ma non necessariamente effettivamente riciclati:
- **Prodotti scartati**: a causa di un comportamento di acquisto compulsivo ed errato oramai comune tra i consumatori. Si stima che il 51% dei clienti compra consciamente più prodotti, sapendo che poi ne restituirà una parte [1].
- Sovrapproduzione: le vendite online hanno un tasso di resi del 20-30% e solamente meno della metà è rivenduta a prezzo intero, portando così i rivenditori a soffrire perdite pari al 10% delle vendite totali [3]. Ne consegue una produzione di molto superiore alla domanda effettiva, duplicando l'effetto negativo che la produzione ha sull'ambiente, considerando che l'84% dei vestiti resi finisce in discariche o inceneritori [1].

Molte aziende tra cui colossi, come Amazon, Nordstrom e LL Bean, hanno deciso recentemente di rafforzare le politiche di reso. Ad esempio, il CEO di Amazon Jeff Bezos ha avviato un progetto pilota che prevede *il processo di consegne e ritiri attuato completamente da veicoli elettrici* [1]; Zara si sta preparando a riciclare il 100% del cartone utilizzato nelle spedizioni [1]. Anche se è il packaging riutilizzabile, da inviare a riciclo o compostare solo dopo numerosi usi, come alcune aziende, soprattutto nel settore food, stanno già sperimentando [4].

Il modello di business di YRI si basa sul retail, che si appoggia ad una catena di più di 109 punti vendita in 16 regioni italiane, e sul Social Selling o "vendita diretta". Questo canale di micro-distribuzione è operato oggi da circa 200.000 consulenti di bellezza che cercano di trovare clientela tramite conoscenze personali in loco e/o social media. Una breve analisi dei costi economici sostenuti da YR Italia nel periodo 2016-2020 legati allo smaltimento dei resi rivela una media di quantità di prodotti smaltiti di circa 830.000 pezzi/anno per un valore medio (definito come il prezzo dei codici da distruggere PMP − prezzo di valorizzazione dello stock finale adottato dal 31/12/2018) di 263.000 euro/anno, a cui va associato un costo medio legato allo smaltimento di 19.700 euro/anno. Il costo medio per lo smaltimento di un reso varia in un range tra 0,03-0,05 €/prodotto. Nel 2019 si rileva il dato più alto: sono stati infatti smaltiti 2,9 Mio di resi (di cui il 66% dovuti a prodotti SX − simplex) per un valore complessivo di 510 mila € e una spesa di 31 mila € per lo smaltimento.

Per far fronte a questo fenomeno, YRI ha messo in campo alcune iniziative per il recupero e la nuova commercializzazione dei prodotti resi non scaduti e ha valutato anche la donazione a titolo gratuito ad enti terzi che possano essere identificati dalla norma come donatari. Tuttavia, la gestione dei resi riguarda una filiera ben più ampia che non può semplicemente ridursi al processo di donazione o smaltimento. Per questo, nel corso del 2022, YRI ha deciso di avviare un'iniziativa di più ampio respiro che affrontasse in maniera olistica il problema partendo dalla sua prevenzione, per arrivare ad una migliore gestione, anche logistica, e infine al suo monitoraggio per instaurare un processo iterativo di miglioramento continuo. In qualità di Società Benefit, e tenendo conto delle priorità e dei valori del Gruppo Rocher di cui è parte, YRI da anni si adopera per migliorare i propri impatti ambientali. Questo progetto entra a far parte della più ampia roadmap Benefit tramite cui, dal 2020, YRI annualmente si fissa ambiziosi obiettivi di rigenerazione.

2. Applicazione dell'Analisi a Molti-Criteri

Numerose sono le modalità di prevenzione, riutilizzo, riciclo e recupero che un'impresa può mettere in atto; tali opzioni permettono di evitare innanzitutto che il prodotto diventi reso

(modifica delle procedure, delle modalità di vendita e distribuzione) e che, nel momento in cui questo succede, non equivalga alla fine del suo ciclo di vita (azioni sul design del prodotto, opzioni alternative di riciclo e recupero). Queste scelte operative spesso si rivelano contemporaneamente profittevoli e sostenibili (win/win), tuttavia questo non sempre avviene, da qui la generazione di potenziali conflittualità rispetto alle decisioni da prendere.

Esistente da diversi decenni, l'Analisi a Molti Criteri (Multi-Criteria Decision Analysis – MCDA) è un modo per strutturare il processo decisionale per un'ampia gamma di questioni [5]. L'MCDA può essere eseguito con molti metodi differenti; i tre più utilizzati sono la teoria del valore multi-attributo (MAVT), i processi di gerarchia analitica (AHP) e il metodo ELECTRE [6][7][8][9].

La MAVT è parsa lo strumento adeguato per poter tener conto dei diversi effetti delle alternative, e quindi delle diverse sensibilità aziendali, dare trasparenza e ripercorribilità al processo, gestire il conflitto, garantendo sempre la partecipazione di tutti i soggetti coinvolti. La MAVT è un approccio MCDA tradizionale, che si sviluppa attraverso l'utilizzo di una matrice di decisione, nella quale vengono descritte le alternative mediante l'utilizzo dei criteri. Questi vengono scalarizzati per mezzo dell'utilizzo di una scala di intervalli arbitrari. Bisogna infatti poter misurare i criteri su una scala comune, in modo da ovviare il problema causato dalla presenza di unità di misura diverse, e raggiungere uniformità nei dati. Si può così normalizzare una matrice convertendola nell'intervallo [0,1], dove 'zero' indica il punteggio peggiore ed 'uno' il migliore. Occorre inoltre indicare la direzione con cui i punteggi vengono misurati, poiché un valore basso è positivo e soddisfacente quando ad esempio si prende in considerazione il criterio di costo, ma negativo se si tratta di un beneficio. La MAVT guindi assegna un punteggio (o valore) numerico a ciascuna alternativa, rappresentandone la performance complessiva dal punto di vista di tutti gli obiettivi considerati [9]. Il risultato è un ordine completo sull'insieme delle alternative. Un altro aspetto cruciale dei metodi MAVT consiste nell'aggregazione dei valori dei criteri, necessaria per metterli in relazione tra loro rispetto all'alternativa. In questo caso è stato il metodo additivo (somma dei valori dei criteri). I vantaggi della sintetizzazione delle informazioni si riscontrano nella trasparenza del procedimento e nella possibilità di comparare diversi scenari e di esplicitare le preferenze del decisore. Gli svantaggi derivano da un'inevitabile perdita di informazioni che l'aggregazione comporta e dalla stretta dipendenza dei valori dalle preferenze soggettive dei decisori.

Dal punto di vista operativo, fondamentali sono stati l'integrazione e la visibilità del processo, garantito dalla circolazione di flussi informativi completi. Ogni funzione ha offerto il proprio contributo in un'ottica di condivisione delle informazioni e degli obiettivi, al fine di fare emergere cause, drivers, attività e soggetti coinvolti e possibilità alternative nella produzione e gestione del reso.

2.1 Individuazione delle alternative

Per poter applicare la MAVT al caso in esame, abbiamo individuato 13 alternative di azioni per la riduzione dei resi, esclusa l'opzione zero (non pertinente in questo caso). L'individuazione delle alternative è partita dalla realizzazione di un catalogo delle best practice esistenti di gestione dei resi, realizzato da InVento Lab, in cui le diverse soluzioni sono state mappate per: Design (progettazione del prodotto), Produzione, Distribuzione (Social Selling&Retail), Utilizzo e Fine vita. Le alternative sono state poi state calate sulla realtà aziendale e condivise con il gruppo di lavoro coinvolto. Le alternative emerse da questo processo sono:

- A1 Spese di trasporto a carico del cliente
- A2 Revisione della politica di recesso
- A3_Sensibilizzazione nudging del canale di vendita
- A4 Inserimento di una penalizzazione/premialità per il canale di vendita sui pacchi resi
- A5_Gestione locale del reso presso il canale di vendita
- A6_Gestione locale del reso con donazioni a onlus per prodotti difettosi ma ancora utilizzabili

- A7 Riduzione delle quantità di prodotti distribuite ai negozi
- A8 Gestione locale del reso con donazioni a onlus per prodotti difettosi ma ancora utilizzabili
- A9_Maggiore assistenza al negozio/venditrice per ridurre i resi non difettosi da parte del cliente finale
- A10_Migliorare la raccolta differenziata dei resi ai fini di ridurre le quantità di rifiuto inviato a distruzione
- A11_Ecodesign di prodotto/packaging ai fini di allungare il ciclo di vita
- A12_Donazione dei resi ancora conformi ad associazioni benefiche o caritative localizzate nei pressi della sede centrale
- A13 Monitoraggio continuo del sistema di gestione dei resi
- A14 Ottimizzazione magazzino e processi logistici.

2.2 Definizione dell'albero dei criteri

Per applicare la MAVT, abbiamo poi strutturato il problema relativo ai resi con 10 criteri più rilevanti relativi a cinque campi principali (Fig. 1), discussi e concordati con i reparti aziendali principalmente coinvolti nel processo. L'insieme dei criteri deve rispettare queste caratteristiche specifiche: Significatività, l'insieme deve essere esaustivo e non ridondante, mutua indipendenza preferenziale [10].

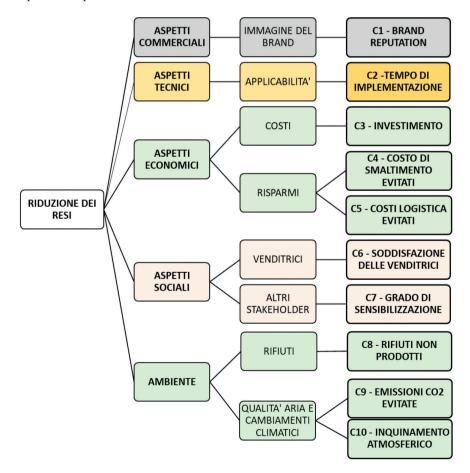


Fig. 1 – Albero dei criteri

2.3 Attribuzione dei valori ai criteri per ogni alternativa

Come richiesto dalla metodologia (Par. 2), abbiamo poi assegnato a ciascun criterio un intervallo realistico di valori (quantitativi o qualitativi), ottenendo la matrice delle performance delle alternative rispetto ai criteri (Tab. 1).

Criterio	Misura	A1	A2	A3	A
C1. Brand reputation	Qualitativo: alto (A), medio (M), basso (B)	A	M		
C2. Tempo di implementazione	Quantitativo: in mesi		24	12	
C6. Soddisfazione delle venditrici	Qualitativo: alto (A), medio (M), basso (B)		M		
C9. Emissioni evitate	Quantitativo: kgCO2eq/anno		12	140	
		•••			

Tab. 1 - Matrice delle performance

2.4 Realizzazione del workshop per l'ordinamento dei criteri

Per un'applicazione semplificata della MAVT, è stato proposto al gruppo di lavoro un workshop in cui sono stati selezionati i più interessanti passaggi della MAVT. In particolare è stato chiesto ai partecipanti di fare un esercizio di graduatoria sull'elicitazione dei pesi: in base alla gamma degli effetti (effetto peggiore, effetto migliore per ciascun criterio) ogni partecipante ha assegnato i diversi criteri a categorie di importanza (Alta, Media, Bassa), arrivando ad una graduatoria completa dei criteri che, equivale, da un punto di vista matematico, ad assegnare limiti e vincoli ai pesi, consentendo ai partecipanti di esprimere il proprio sistema di valori, senza tuttavia dover attribuire pesi numerici ai criteri. L'esercizio è stato strutturato in due sessioni principali:

- 1. una prima sessione per generare una graduatoria di criteri, prima individualmente e poi in gruppo, con l'aiuto di card che riportavano oltre al criterio il range di variazione del valore per tutto il gruppo di alternative;
- 2. una seconda sessione in cui i partecipanti hanno discusso i risultati dell'MCDA.

3. Risultati

Infine, è stato utilizzato il software VIP Analysis [10] per l'elaborazione dei risultati considerando tutto l'insieme di pesi compatibili con i vincoli dati dagli stakeholder. In particolare, VIP Analysis calcola il range di valore per ciascuna alternativa, ovvero il valore minimo e massimo (prestazioni complessive) che ciascuna alternativa può avere, fatti salvi i vincoli sui pesi. Il software ha restituito questo gruppo di alternative dominanti (Fig. 2):

- A13 Monitoraggio continuo del sistema di gestione dei resi
- A2_Revisione della politica di recesso
- A3 Sensibilizzazione nudging del canale di vendita
- A14_Ottimizzazione magazzino e processi logistici
- A9_ Maggiore assistenza al negozio/venditrice per ridurre i resi non difettosi da parte del cliente finale
- A4_ Inserimento di una penalizzazione/premialità per il canale di vendita sui pacchi resi

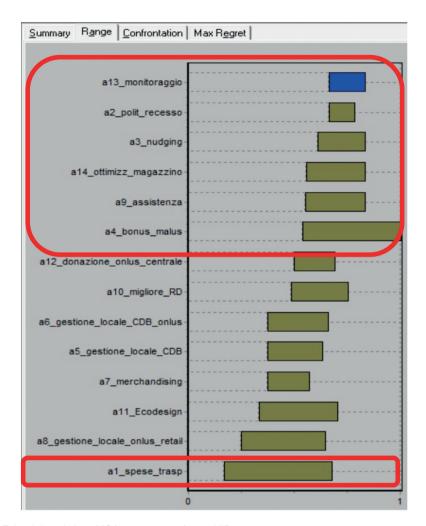


Fig. 2 – Esito del workshop MCA attraverso software VIP.

Nella discussione rispetto ai risultati ottenuti, il gruppo di lavoro ha scelto di riconsiderare, seppur dominata, non in modo assoluto, anche l'alternativa "A1-Spese di trasporto a carico del cliente" in quanto potenzialmente molto efficace nel contrastare il fenomeno dei resi specialmente nella rete di vendita. Questa scelta ha confermato che sebbene l'MCDA non possa favorire l'accettazione sistematica può ridurre la quantità di alternative accettabili (alternative da scartare perché risultano dominate). Inoltre rendendo trasparente e partecipata la decisione consente di riconsiderare alternative che non hanno rispettato l'ordinamento espresso dal gruppo di lavoro.

Tutte le alternative emerse sono state avviate dall'azienda nel 2023 per essere complessivamente realizzate nel biennio 2023-2024. Per ognuna di esse è stato dettagliato il contenuto e definita la governance (obiettivo specifico, le responsabilità, tempi, costi, etc.).

3.1 Il monitoraggio dei resi

L'alternativa dominante "A13_Monitoraggio continuo del sistema di gestione dei resi" è lo strumento chiave che consente di verificare l'efficacia delle azioni messe in campo. Ha infatti l'obiettivo formalizzare un monitoraggio continuo dei prodotti resi da retail e vendita diretta

istituendo un sistema di indicatori chiave, e definendo ruoli (chi lo monitora e a chi lo comunica), tempistiche (periodicità e frequenza di raccolta del dato), gestione dei dati raccolti. Per la realizzazione del monitoraggio, è stata mutuata e adattata al caso aziendale la metodologia utilizzata per la valutazione ambientale di Piani, Programmi e Progetti [11], basata sulle fasi di Analisi, Diagnosi e Terapia del processo al fine di individuare eventuali scostamenti rispetto ai risultati sperati e individuare efficaci azioni di riorientamento. Questa attività fornirà anche le informazioni necessarie per poter aggiornare gli obiettivi nella Roadmap Benefit 2024 di YRI.

4. Conclusioni

YRI è stata spinta ad attivare questi cambiamenti di processo da una forte motivazione con una componente sia economica, a fronte delle ingenti perdite che i resi comportano, sia ambientale, alla luce degli impegni strategici che l'azienda si è assunta in quanto Società Benefit. Ma trasformare un processo aziendale è un passaggio molto delicato che potrebbe spostare equilibri non facilmente accettabili dall'insieme degli stakeholder aziendali, internamente ed esternamente. Per questo il DSS adottato è sembrato uno strumento adatto per gestire il conflitto, aumentare il coinvolgimento e rendere il processo trasparente e ripercorribile. Accanto a questo, per assicurare una gestione efficace dei processi volti a ridurre i resi, è necessario affiancare a tutte le azioni intraprese una comunicazione ripetuta a cascata in tutta l'organizzazione per "trasmettere" la strategia adottata e di garantire una comprensione condivisa del ruolo strategico svolto dalla gestione dei resi oltre che recepire le riflessioni ed istanze dei soggetti interni ed esterni alla azienda al fine di strutturare i cambiamenti secondo un percorso di continuo miglioramento, rendendoli co-responsabili del problema e co-autori delle nuove strategie. Affinché le soluzioni acquisite siano durevoli e dimostrabili è necessario che le trasformazioni realizzate non si concentrino unicamente sui processi ma siano parte di un profondo cambiamento culturale dell'organizzazione.

Bibliografia

- [1] **National Retail Federation**, 2020 Customer Returns in the Retail Industry, Gennaio 2021, https://nrf.com/research/customer-returns-retail-industry
- [2] **Schiffer, J.,** "The unsustainable cost of free returns", Vogue Business, https://www.voguebusiness.com/consumers/returns-rising-costs-retail-environmental, 2019
- [3] **Progetto FAIRE Regione Lombardia**, POR FESR2014-2020 https://www.fairehub.it/impatto-ambientale-resi-online/
- [4] Gruenewald, F., Haag, J., Hornyai, F., <u>Lingqvist</u>, O., <u>Nordigården</u> D., "The potential impact of reusable packaging"

https://www.mckinsey.com/industries/paper-forest-products-and-packaging/our-insights/the-potential-impact-of-reusable-packaging, Aprile 2023

- [5] Diakoulaki et al., 2005; Huang et al., 1995; Løken, 2007; Pohekar & Ramachandran, 2004; Wang et al., 2009
- [6] Hobbs, B., Meier, P. (1994). MULTICRITERIA METHODS FOR RESOURCE PLANNING AN EXPERIMENTAL COMPARISON. IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS. 9(4). 1811-1817.
- [7] **Figueira, J., Greco S:, and Ehrgott M**., eds. "Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys." (2005).
- [8] **Tsoukiàs**, A. "From decision theory to decision aiding methodology." European journal of operational research 187.1 (2008): 138-161.
- [9] **Keene, R.L., Raiffa H.**" Decisions with Multiple Objectives". John Wiley and Sons, New York, 1976 [10] **L. C. Dias and J. N. Climaco**, "Additive Aggregation with Variable Interdependent Parameters: The VIP Analysis Software", The Journal of the Operational Research Society Vol. 51, No. 9 (Sep., 2000), Published By: Palgrave Macmillan Journals
- [11] Ministero della Transizione Ecologica Direzione Generale per la Crescita Sostenibile e la qualità dello Sviluppo, ISPRA, Poliedra-Politecnico di Milano, VERSO LE LINEE GUIDA SUL MONITO-RAGGIO VAS, maggio 2010

Progetto pilota di raccolta differenziata tramite Ecoisole Informatizzate Comune di Bastia Umbra (PG)

Massimo Pera m.pera@gesenu.it, Marco Bagnini, Valentina Piermatti – GEST srl, Perugia

Riassunto

Il Progetto Ecoisole Informatizzate attivato da Gest srl (Gruppo Gesenu S.p.A.) nel capoluogo del Comune di Bastia Umbra nasce dall'idea di adottare modelli evoluti, innovativi e tecnologicamente avanzati di raccolta differenziata in contesti urbani ad elevata densità abitativa. L'obiettivo era quello di garantire alti standard quali-quantitativi nel servizio di raccolta dei rifiuti, nonché risolvere le criticità dovute alla mancanza di spazi per il posizionamento dei contenitori. Elementi innovativi e fondamentali del progetto sono stati quelli di garantire all'utenza la possibilità di conferire i rifiuti con estrema flessibilità ed allo stesso tempo di assicurare la piena tracciabilità dei conferimenti in ottica di applicazione della tariffa puntuale. L'adozione di questo innovativo modello di raccolta ha consentito di avere miglioramenti sostanziali sia in termini di incremento della percentuale di raccolta differenziata, sia in termini di qualità del rifiuto raccolto, migliorando al contempo anche il decoro urbano.

Summary

The Project "Ecoisole Informatizzate" (Computerized Structure) applied by Gest srl (Gruppo Gesenu S.p.A.) in the urban center of Bastia Umbra was born from the idea of adopting evolved, innovative and technologically advanced models of separate waste collection in environments with huge concentrations of people and businesses. The aim was to ensure high qualitative and quantitative standards in the waste collection service, as well as solve critical issues due to the lack of space for positioning waste containers. The innovative and fundamental elements of the project were to ensure users the possibility to deliver their waste with flexible hours and at the same time ensuring waste tracking with the purpose of precise tariffs based on waste monitoring. The adoption of this innovative model of waste collection has allowed for improvements both in terms of increasing percentage of separate collection and quality of waste collected, while improving urban decor.

1. Introduzione

Il progetto attivato da Gest srl (Gruppo Gesenu S.p.A.) nel capoluogo del Comune di Bastia Umbra e nella frazione di Costano, attuato nel corso del primo trimestre 2022, ha previsto la sostituzione integrale del sistema di raccolta differenziata porta a porta (PaP) a mastelli e sacchi mediante l'installazione di Ecoisole Informatizzate ad accesso controllato, ovvero strutture amovibili metalliche leggere dove conferire in maniera differenziata i rifiuti.

Le Ecoisole sono al servizio di tutte le utenze domestiche (UD) e delle piccole utenze non domestiche (UND), mantenendo inalterato il servizio di raccolta porta a porta per alcune categorie di UND come bar, ristoranti, supermercati e scuole. Le utenze, previa identificazione tramite tessera di riconoscimento RFID associata all'Utenza TA.RI, sono abilitate al conferi-

mento di carta e cartone, imballaggi in plastica e metallo (multimateriale leggero), frazione organica e rifiuto secco residuo. Le utenze possono conferire i rifiuti, senza vincoli di orario, attraverso i portelli frontali, dedicati a ciascuna frazione merceologica, che si aprono a seguito del riconoscimento. Tale metodo garantisce il controllo diretto del numero di svuotamenti associati a ciascuna utenza in previsione dell'applicazione della tariffa puntuale sui rifiuti.

Si tratta di un'esperienza unica ed innovativa in quanto le strutture informatizzate installate sul territorio comunale non vengono utilizzate come strumento di supporto ed integrazione del servizio di raccolta, ma bensì sostituiscono integralmente il precedente sistema domiciliare. Con il precedente sistema di raccolta il Comune di Bastia Umbra aveva raggiunto nel 2020 ottimi risultati per quanto riguarda la percentuale di Raccolta Differenziata. A Dicembre 2020 infatti la % di RD si attestava al 74 %, superando l'objettivo del 72.3 % indicato dalla D.G.R.

infatti la % di RD si attestava al 74 %, superando l'obiettivo del 72,3% indicato dalla D.G.R. della Regione Umbria n. 34 del 18/01/2016 e successivamente riconfermato dalla D.G.R. n. 1409 del 04/12/2018.

Di seguito vengono elencati i principali punti di forza e le criticità del precedente servizio di raccolta domiciliare tramite sacchi/mastelli:

PUNTI DI FORZA		CRITICITÀ		
-	- Sistema di raccolta coerente con le previsioni		Presenza di numerosi mastelli collocati	
di Piano d'Ambito e con le previsioni del			in alcuni punti della città il giorno della	
	Piano Regionale;		raccolta;	
- Elevati livelli di Raccolta Differenziata;		-	Conferimenti eseguiti spesso con contenitori	
-	Elevata qualità del materiale raccolto;		o sacchi non taggati;	
-	Tracciabilità puntuale dei conferimenti;	-	Raccolta vincolata nei giorni e negli orari al	
-	Basso sfruttamento degli spazi pubblici quali		Calendario;	
	parcheggi, aree verdi, ecc	-	Raccolta non sufficiente nei periodi di	
			sovraproduzione.	

2. L'innovativo sistema di raccolta dei rifiuti: Ecoisole Informatizzate

2.1 Utenze coinvolte e driver progettuali

Il numero delle utenze domestiche e non domestiche coinvolte dalla modifica di servizio e residenti nel capoluogo e nella frazione di Costano è stato estrapolato dall'anagrafica TARI del Comune di Bastia Umbra.

Di seguito si riportano i principali drivers seguiti per la realizzazione del progetto:

- Tutte le utenze domestiche conferiscono i propri rifiuti presso le Ecoisole informatizzate.
 Nel capoluogo e nella frazione di Costano risultavano rispettivamente circa 2.850 e circa 90 utenze domestiche.
- Il servizio dedicato alle utenze non domestiche è stato dimensionato in base alle categorie delle attività descritte in Tabella 1 (DPR 158/1999). In particolare le categorie del DPR 158/99 sono state raggruppate in 2 Macrocategorie aventi caratteristiche affini di servizio: alle attività grandi produttrici di rifiuti (categorie 7,8,9,10,22,23,24,25,26,27,28,29,30, con l'aggiunta di Scuole, Luoghi di Culto, Edifici ed Enti Pubblici) sono stati consegnati in comodato d'uso gratuito contenitori, dotati di TAG RFID e serratura, di appropriata volumetria e ad uso esclusivo, che vengono svuotati con un servizio di raccolta Porta a Porta, mentre le attività commerciali non facenti parte delle sopra citate categorie, conferiscono i propri rifiuti presso le Ecoisole informatizzate del territorio e sono state quindi conteggiate nel numero totale di utenze da servire per il dimensionamento di tale servizio. Nel capoluogo e nella frazione di Costano risultavano complessivamente circa 590 utenze commerciali servite tramite Ecoisole e circa 80 servite con sistema domiciliare.

Di seguito si riporta una tabella di riepilogo delle utenze domestiche e non domestiche che sono interessate dal servizio di raccolta Porta a Porta e quelle che invece conferiscono i propri rifiuti presso le Ecoisole informatizzate:

BASTIA UMBRA			
n. UD alle Ecoisole	2.940		
n. UND alle Ecoisole	590		
n. UND servite PaP	80		

In fase di dimensionamento si è tenuto in considerazione la maggiore produzione delle utenze commerciali rispetto a quelle domestiche.

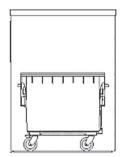
2.2 Le Ecoisole Informatizzate

Le Ecoisole Informatizzate sono strutture amovibili metalliche leggere dotate di una struttura a telaio composto da travi e pilastri in ferro zincato, rigidamente connessi fra di loro tramite saldature con pareti esterne e copertura realizzate in pannelli costituiti da due rivestimenti in lamiera metallica con strato isolante in poliuretano interno.

Sulla base delle utenze che conferiranno alle Ecoisole e del dimensionamento sono state installate Ecoisole monolato con 4/5 portelli di conferimento, in grado di accogliere n. 4/5 contenitori da 1.100 lt (Fig. 1). L'Ecoisola ha misure esterne di 1.530 mm di profondità, 5.160 mm di lunghezza e 2.100 mm di altezza, e sulla struttura esterna è stata applicata una grafica personalizzata in linea con il contesto storico artistico di Bastia Umbra (Fig. 2).

Le strutture sono dotate di:

- portellone frontale per lo svuotamento dei contenitori interni;
- portelli di conferimento dei rifiuti alle utenze;
- pannelli fotovoltaici collegati ad una batteria di accumulo al piombo che certificano l'autosufficienza energetica dell'Ecoisola e il suo funzionamento 24 ore al giorno.



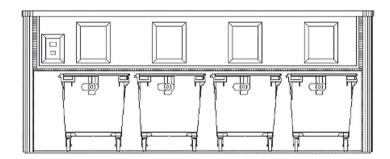


Fig. 1 - Ecoisola monolato a 4 portelli



Fig. 2 - Ecoisola installata in Via Egitto ed in Via Pascoli

2.3 Il funzionamento delle Ecoisole

L'Ecoisola è una struttura autonoma e autosufficiente dal punto di vista energetico nella gestione e nel controllo dei rifiuti; gli utenti autorizzati all'utilizzo della stessa possono conferire i materiali (carta, plastica e metalli, secco residuo, frazione organica) direttamente in un unico punto di raccolta, identificandosi attraverso una tessera con codice RFID, distribuita dal Gestore, associata a ciascun immobile di proprietà dell'Utenza. Il funzionamento dell'Ecoisola è riportato nella Tabella 1 seguente:



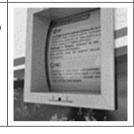
1.
IDENTIFICAZIONE
dell'utente tramite
tessera con codice
RFID:



dello sportello di conferimento, in base allo specifico rifiuto, tramite sensore a sfioramento;



3. CONFERIMENTO
del rifiuto all'interno
dello sportello
con bocchetta di
conferimento a
controllo volumetrico;



4. CHIUSURA
automatica dello
sportello al termine
del conferimento con
relativa quantificazione
dei conferimenti.

Tab. 1 - Funzionamento dell'Ecoisola

2.4 Calendario di svuotamento delle Ecoisole

Al fine di garantire la continuità di funzionamento delle Ecoisole e alti livelli di decoro urbano nei pressi della stessa di seguito (Tabella 2) le frequenze di svuotamento dei contenitori.

FRAZIONE	ATTREZZATURA	FREQUENZA DI	SVUOTAMENTO
Secco residuo	Contenitori da 1.100 litri	Giornaliera	6/7
Carta e cartone	Contenitori da 1.100 litri	Giornaliera	6/7
Plastica e metalli	Contenitori da 1.100 litri	Giornaliera	6/7
Organico	Contenitori da 1.100 litri	Giornaliera	6/7

Tab. 2 - Frequenze di svuotamento dei contenitori

2.5 Dimensionamento e posizionamento delle Ecoisole

Il dimensionamento delle Ecoisole, ovvero la determinazione del numero da installare è stato determinato a seguito di un'attenta analisi condotta sulla volumetria delle forniture precedentemente impiegate dalle utenze residenti nelle zone di progetto e sulle frequenze di svuotamento associate a ciascuna frazione di rifiuto. Parallelamente si è svolta anche un'analisi basata sull'estensione del territorio oggetto della modifica del servizio e quindi sull'area di influenza di ciascuna Ecoisola (lontananza dall'utenza). Dall'analisi è emerso che ciascuna Ecoisola può servire giornalmente circa 143 Utenze. Come si evince dalla planimetria in Figura 3, l'intero Capoluogo Comunale è coperto dall'area di influenza delle Ecoisole Informatizzate; pertanto il posizionamento delle 32 Ecoisole Informatizzate (una posizionata nella frazione di Costano) consente di garantire una distanza di conferimento massima di 120 m.

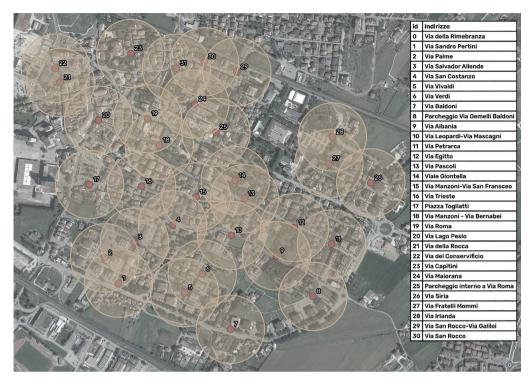


Fig. 3 - Posizionamento Ecoisole sul capoluogo con relativa area di influenza

2.6 Gli obiettivi raggiunti

A distanza di quasi due anni dall'avvio del nuovo progetto di raccolta e al fine di valutare le performance ottenute sia in termini quantitativi (%RD) che qualitativi sono stati analizzati i dati della raccolta differenziata e sono state eseguite analisi merceologiche mirate del materiale raccolto:

— la percentuale di raccolta differenziata è aumentata di quasi 1 punto percentuale fra dicembre 2021 e agosto 2023 (74,77%) (Fig. 4);

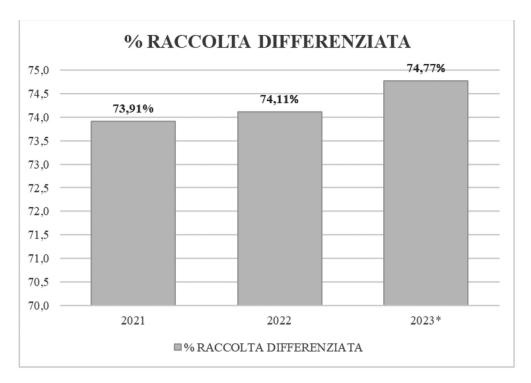


Fig. 4 – Andamento della percentuale di raccolta differenziata dopo l'attivazione del nuovo progetto. *proiezione annuale dei dati rilevati ad agosto 2023.

- dai rapporti di prova registrati nei mesi di marzo, aprile, maggio e giugno 2023 è emerso che:
- o la % di Materiale Non Compatibile (%MNC) all'interno della frazione organica è pari al 6,5% circa;
- la % di rifiuti potenzialmente riciclabili nel secco residuo è pari a circa il 60%;
- la % di materiali non compatibili all'interno degli imballaggi in plastica e metalli è pari a circa il 20%:
- o la % di componenti non cartacei all'interno della carta è pari a circa il 5%.

3. Conclusioni

Il servizio tramite Ecoisole Informatizzate non è solo un punto di arrivo, bensì un punto di partenza. La riuscita o meno di un modello di raccolta adottato sul territorio, non può prescindere dalla collaborazione dei cittadini e delle attività commerciali coinvolte. Per permettere ciò è indispensabile progettare sistemi di raccolta differenziata flessibili, puntuali e calzati sulle reali esigenze delle utenze. Il sistema proposto è un modello innovativo e flessibile, in continuo perfezionamento, grazie soprattutto alla partecipazione attiva della cittadinanza che, mediante gli strumenti di comunicazione messi a disposizione, quali app per smartphone, numero WhatsApp dedicato e Pagina Facebook, collabora con il Gestore nella cura e pulizia del territorio.

Di seguito si elencano alcuni dei principali vantaggi ottenuti grazie all'adozione di questo nuovo modello di raccolta differenziata:

- miglioramento delle performance di raccolta in termini quantitativi e qualitativi;
- miglioramento sicurezza/salute degli operatori grazie alla meccanizzazione del sistema;
- responsabilizzazione degli utenti;

- vantaggio ambientale legato al minor numero di mezzi circolanti rispetto al porta a porta;
- accessibilità ai finanziamenti rivolti all'innovazione tecnologica;
- conferimenti svincolati da orari del servizio;
- minor occupazione della proprietà privata;
- assenza di un calendario prestabilito per l'esposizione dei contenitori;
- maggior decoro urbano per assenza di mastelli/sacchi su strada.

WATER CYCLE AND BLUE ECONOMY

WATER PROJECTS EUROPE @ ECOMONDO: CLUSTERS, SYNERGIES AND INTERFACE WITH MARKET PLAYERS AND PROBLEM OWNERS

Zero pollution and circular economy should be achieved within climate change challenges and nexus optimization, with support of digital solutions. Synergized European innovation actions can inspire both scale-up and replication of ecoinnovative solutions together with systemic changes. The paper under this session presents innovation on how to sustain fashion industry by means of common use waste batteries

A cura di: Ecomondo Scientific Technical Committee & European Commission JRC, Water Europe, WATER JPI, Marche Polytechnic University

Presidenti di sessione:

Andrea Rubini, Technical Scientific Committee of ECOMONDO, Water Europe Francesco Fatone, Technical Scientific Committee of ECOMONDO, Marche Polytechnic University

Batterie esauste catalizzano la sostenibilità del fashion (e la ZDHC)

<u>Giovanni Rissone (g.rissone@irideacque.com;</u> Monica Casadei, Francesco Capoti, Marzio Ferraglio – Iride Acque

Riassunto

Tendenza recente nelle aziende della moda è puntare sulla sostenibilità come fattore di differenziazione e vantaggio competitivo.

I players globali rendono operativo questo approccio aderendo all'organizzazione "ZDHC- Zero Discharge of Hazardous Chemicals" – iniziativa che mira a ridurre l'uso e lo scarico di sostanze chimiche pericolose nell'industria tessile e calzaturiera, promuovendo così un impatto sostenibile della filiera. Partendo dalla proprietaria "tecnologia EMER- (Enhanced Magnetic Heterogeneous Reactor)", IRIDE ACQUE Società Benefit ha sviluppato un processo in grado di coniugare in un unico impianto integrato gli obiettivi di sostenibilità, economia circolare e ZDHC del settore.

Grazie all'integrazione di varie tecnologie, Iride ha realizzato un impianto finalizzato al trattamento dei reflui da tintura che permette:

- Il riciclo degli scarti da batterie esauste: questi rifiuti, opportunamente trattati, costituiscono l'innovativo catalizzatore EMER (brevettato Iride) in grado di potenziare il processo di ossidazione chimica avanzata degli inquinanti "biorefrattari", tipici di questi reflui ad alto impatto ambientale
- Il riuso dei sali di tintura, con conseguente riduzione dell'impatto di tali inquinanti sul sistema idrico
- L'abbattimento del carico inquinante scaricato in fognatura dallo stabilimento, grazie all'incrementata biodegradabilità dei reflui pretrattati nell'impianto EMER
- La riduzione del consumo di reagenti e della produzione di sottoprodotti del trattamento rispetto ad un processo tradizionale.

Nel corso dell'intervento sarà illustrato lo sviluppo della tecnologia EMER, dalla scoperta al perfezionamento – in collaborazione con primari Istituti Universitari – del catalizzatore e dei reattori; la fase di test del processo integrato e, per concludere, la presentazione della prima applicazione industriale con i relativi risultati operativi.

Summary

Recent trend in fashion companies is to focus on sustainability as a differentiator and competitive advantage.

Global players operationalize this approach by joining the organization "ZDHC- Zero Discharge of Hazardous Chemicals"-an initiative that aims to reduce the use and discharge of hazardous chemicals in the textile and footwear industry, thus promoting a sustainable impact of the supply chain. Starting with the proprietary "EMER- (Enhanced Magnetic Heterogeneous Reactor) technology," IRIDE ACQUE Benefit Society has developed a process that can combine the industry's sustainability, circular economy and ZDHC goals in a single integrated plant.

Through the integration of various technologies, Iride has created a plant aimed at treating dyeing wastes that allows:

- The recycling of waste from spent batteries: these wastes, properly treated, constitute the innovative EMER catalyst (patented by Iride) capable of enhancing the advanced chemical oxidation process of "biorefractory" pollutants, typical of these high environmental impact wastes

- The reuse of dye salts, resulting in a reduction of the impact of these pollutants on the water system
- The abatement of the pollutant load discharged into the sewer system from the plant, thanks to the increased biodegradability of the effluent pretreated in the EMER plant
- The reduction in reagent consumption and production of treatment byproducts compared to a traditional process.

The development of the EMER technology, from discovery to refinement—in collaboration with leading university institutes—of the catalyst and reactors; the testing phase of the integrated process; and, finally, the presentation of the first industrial application with its operational results will be presented.

1. Introduzione

L'industria tessile ha alcune caratteristiche che la rendono una delle filiere produttive più impattanti sull'ambiente. Agli sforzi dei governi per ridurre l'impatto della filiera sull'ambiente, e renderla un'industria sostenibile, si affiancano iniziative delle singole aziende che investono sulla sostenibilità anche come fattore di vantaggio competitivo distintivo sul mercato.

Questa strategia competitiva è stata intrapresa dal Cliente di IRIDE ACQUE, una delle più grandi tintorie italiane, leader del settore e partner dei maggiori brand del settore.

Dopo aver aderito all'iniziativa ZDHC-Zero Discharge of Hazardous Chemicals, ha infatti commissionato ad IRIDE ACQUE un impianto per la realizzazione dell'innovativo processo "EMER Brine Recovery". Un impianto integrato che permette:

- Il riciclo degli scarti da batterie esauste: rifiuti che, opportunamente trattati, costituiscono l'innovativo catalizzatore EMER (brevettato Iride) in grado di potenziare il processo di ossidazione chimica avanzata degli inquinanti "biorefrattari", tipici di questi reflui ad alto impatto ambientale
- Il riuso dei sali di tintura, con conseguente riduzione dell'impatto di tali inquinanti sul sistema idrico e notevole risparmio economico derivante dall'utilizzo di reagenti freschi
- L'abbattimento del carico inquinante scaricato in fognatura dallo stabilimento, grazie all'incrementata biodegradabilità dei reflui pretrattati nell'impianto EMER
- La riduzione del consumo di reagenti e della produzione di sottoprodotti del trattamento rispetto ad un processo tradizionale.

2. Relazione

3.1 Gli impatti del settore tessile: UE e ZDHC

L'industria del tessile si presenta come una delle filiere ad elevato impatto ambientale, tra cui i principali sono:

- **Consumo in eccesso di risorse naturali**-la produzione tessile ha bisogno di utilizzare molto acqua (globalmente <u>79 miliardi di metri cubi di acqua</u> nel 2015); nel 2020, il settore tessile è stato <u>la terza fonte di degrado delle risorse idriche e dell'uso del suolo</u>
- Inquinamento idrico-si stima che la produzione tessile sia responsabile di circa il 20% dell'inquinamento globale dell'acqua potabile a causa dei vari processi a cui sono sottoposti i prodotti
- **Emissioni di gas a effetto serra**-si calcola che l'industria della moda sia responsabile del 10% delle emissioni globali di carbonio, più del totale di tutti i <u>voli internazionali e del tra</u>sporto marittimo.

A fronte di tali aspetti, con l'obiettivo di rendere la propria economia tra le più sostenibili al mondo, l'UE prevede, tra le altre misure, di <u>sensibilizzare i consumatori ad acquistare meno capi di migliore qualità (moda sostenibile) e in generale orientare il comportamento dei consumatori verso opzioni più sostenibili. [1]</u>

In tale ottica, spinti ad adottare processi produttivi maggiormente sostenibili da una crescente sensibilità del mercato, i maggiori players della filiera della moda hanno aderito all'iniziativa ZDHC-Zero Discharge of Hazardous Chemicals.

Si tratta di un'iniziativa globale, lanciata nel 2016 da un gruppo di aziende leader del settore tessile

(tra cui Adidas, H&M, Nike e PVH) che mira a eliminare l'uso di sostanze chimiche pericolose nella catena di approvvigionamento tessile. Fulcro dell'iniziativa (volontaria) è il "ZDHC Framework", un insieme di standard e linee guida che le aziende possono seguire per ridurre l'uso di sostanze chimiche pericolose nella loro catena di approvvigionamento. Il framework è stato riconosciuto dalle Nazioni Unite come un importante strumento per promuovere la sostenibilità nella catena di approvvigionamento tessile e, ad oggi, più di 1.800 aziende vi hanno aderito. [2]

3.2 Peculiarità dei reflui

L'industria tessile è altamente impattante non solo per le ingenti quantità di acqua richiesta (dai 45 ai 70 l di acqua per kg di prodotto finito), ma anche per la varietà di sostanze chimiche utilizzate. In generale, ci sono diversi tipi di fasi di lavorazione a umido, profili di produzione di tessuti e quindi fluttuazioni delle portate e delle composizioni degli effluenti coinvolti. Nella tabella sono riportati i principali inquinanti che caratterizzano i reflui per le singole fasi produttive. Il processo "EMER Brine Recovery", illustrato nell'articolo, è applicato ai reflui prodotti dalla fase di tintura: concentreremo pertanto l'attenzione sui reflui prodotti da questa fase lavorativa. Questi reflui (Tab. 1) hanno una elevata natura "biorefrattaria", fatto principalmente attribuibile all'uso estensivo di vari coloranti e additivi chimici (come alcool polivinilico, tensioattivi, ecc.). Pertanto, le acque reflue sono caratterizzate da un elevato contenuto di materia organica (COD, BOD5), solidi sospesi, valori di colore e pH fino a 2 nell'intervallo acido e fino a 12 nel basico. [3]

Unit ₁ process	Pollutant types found in the effluent	Characteristics of the effluent	Pollution load (kg COD/t fabric)
Desizing	Starch, glucose, carboxymethyl cellulose, polyvinyl alcohol, resins, oils, fats and waxes, biocides	High BOD, COD (30–50 % of total), SS	90
Scouring	Caustic soda, soda ash, waxes and greases, sodium silicate, sequestering agents	Strongly alkaline, dark colour, high BOD and COD (30 % of total)	40–80
Bleaching	Hypochlorite, caustic soda, hydrogen peroxide, acids, sequestering agents	High alkalinity, low BOD&COD (< 5 %)	10
Mercerizing	Caustic soda	High alkalinity, very low BOD&COD	<1
Dyeing	Dyestuffs, reducing agents (sulphides, hydrosulphides), acetic acid, sequestering agents, surfactants, wetting agents	Strong colour, high alkalinity, high TDS, moderate to high BOD&COD	10–15 (Batch dyeing = 5 g COD/L; Continuous& semi-continuous dyeing = 2–200 g COD/L)
Printing	Starch, alcohols, ammonia, formaldehyde, aliphatic hydrocarbons, monomers e.g. acrylates, vinylacetate, styrene, colorants, gums, oil, mordants, metallic salt	Strong colour, high emission potential, oily appearance, moderate to high BOD&COD (10 % of total)	10–15 ΄
Finishing	Tallow, common salt, Glauber salt, antistatic agents, biocides, flame retardants, etc.	Slightly alkaline, low BOD&COD (< 1 %)	<1

Tab. 1 – Profili di inquinamento di diverse unità di processo del settore tessile

3.3 Processi di trattamento da letteratura

Data la complessità delle matrici da trattare sono stati sperimentati diversi trattamenti per questi reflui. Questi includono l'adsorbimento di carbone attivo, la coagulazione-flocculazione, la degradazione biologica (fanghi attivi), il trattamento elettrochimico, l'ozonizzazione, ecc., che spesso producono effluenti finali ancora superiori ai limiti di scarico.[3]

Tra questi un'estensiva ricerca è stata condotta sull'applicabilità del processo ossidativo Fenton, condotto sia condotto in modo omogeneo sia eterogeneo.

Ampiamente utilizzata per il trattamento delle acque reflue altamente inquinate delle fabbriche tessili e della carta, nonché delle acque reflue farmaceutiche (Zagorc-Končan), il processo Fenton ha, infatti, un ridotto tempo di reazione in relazione agli altri processi di ossidazione avanzati e presenta altri importanti vantaggi [tra i quali: il ferro e l'H₂O₂ sono economici e non tossici, non c'è consumo energetico di attivazione, il processo è facilmente gestibile e controllabile, è stato osservato un apprezzabile miglioramento della biodegradabilità (rapporto BOD5/COD o BOD5/DOC)].

Tra le applicazioni nell'industria tessile citate in letteratura [3] si evidenziano i seguenti riscontri da letteratura: -riduzione del COD del 60% e del 30% del colore in reflui da tintura [Flaherty and Huang]// il processo Fenton si rimuove fino al 100% del colore e oltre il 90% del COD [Badawy and Ali] // il Fenton rimuove il COD in misura maggiore (59%) rispetto all'ozonizzazione (33%) [Meric S, Selcuk H and Belgiorno] // su acque reflue da industria tessile bio-refrattarie con processo Fenton il COD è diminuito di circa il 45% il colore del 71,5% [Papadopoulos *e altri*]

A causa della complessità e dell'elevato COD degli effluenti tessili, diversi autori hanno suggerito l'applicazione di trattamenti combinati, tra cui l'ossidazione Fenton come componente del processo [3].

IRIDE ACQUE per l'ideazione della linea EMER di avvalsa particolarmente degli studi di Lin e Peng e di Fongsatitkul *e altri*.

Infine è stato riscontrato in letteratura che l'ossidazione eterogenea di Fenton è un'alternativa interessante al tradizionale processo omogeneo di Fenton. La fonte in letteratura di maggior rilievo è sicuramente l'articolo [4] e il progetto "TO-IT-006" dell'ENEA. [5]

3.4 Processi di trattamento a membrana per il recupero dei sali

Proprio questo trattamento a membrane, citato nello studio dell'ENEA, permette di introdurre la seconda linea che completa il processo innovativo integrato "EMER Brine Recovery" di IRIDE.

La fase di tintura, infatti, rilascia un alto tenore dei sali utilizzati per migliorare la solidità della tintura: si tratta in particolare di cloruro di sodio (NaCl) e di solfato di sodio (Na2SO4). (Olcay Tünay)

Il ZDHC Framework include i cloruri nell'elenco delle sostanze chimiche pericolose da eliminare dalla catena di approvvigionamento tessile: le aziende che aderiscono al ZDHC Framework devono sviluppare un piano per ridurre l'uso di cloruri e per trovare alternative più sostenibili.

3.5 EMER – the IRIDE "Enhanced Magnetic Heterogeneous Reactor"

Il catalizzatore innovativo, brevettato da Iride Acque Società Benefit e cuore della tecnologia EMER, è un materiale innovativo ricavato da batterie e/o pile di uso comune, ed ha proprietà chimico-fisiche tali da poter essere impiegato con rese elevate in processi di ossidazione chimica avanzata.

Alcuni cenni dei principali riscontri sullo studio delle proprietà del materiale

-La sua efficacia è stata studiata dal Prof. Di Palma dell'Università La Sapienza di Roma [6].

Gli studi condotti hanno consentito di confrontare il catalizzatore EMER con altri catalizzatori di uso comune nei processi di ossidazione catalitica, rilevandone la maggiore efficacia in termini di abbattimento degli inquinanti, di durata e di facilità di rigenerazione.

- il catalizzatore consenta di perseguire una notevole riduzione del COD, rispetto al caso comparativo in Fenton omogeneo (Brevetto n. 102017000149010, 2017)
- nelle prove di ossidazione con processo Fenton eterogeneo, condotte su un composto di riferimento (p-Benzochinone) notoriamente recalcitrante all'ossidazione biologica, il processo EMER ha mostrato prestazioni migliori del Fenton omogeneo (incremento di rimozione di circa il 25%) [6]
- i rilasci di metalli sono molto contenuti e, previa neutralizzazione del refluo post-ossidazione, le concentrazioni residue sono in linea con i limiti allo scarico [7]; inoltre l'impiego del catalizzatore "in scaglie" consente di prevenire il rilascio dei metalli (la successiva neutralizzazione consente di rimuovere i metalli disciolti in soluzione) [6]
- la cinetica del processo di rimozione è del primo ordine, ma i dati sperimentali lascia presupporre un possibile contributo da parte di un fenomeno diverso (adsorbimento) [6]
- Il trattamento EMER di un refluo biorefrattario comporta rimozioni molto elevate (86% del TOC) e porta ad un significativo incremento (58%) della biodegradabilità del trattato [8]

3.6 L'impianto EMER Brine Recovery

Il processo integrato studiato da IRIDE è stato proposto ad una tintoria industriale, leader del settore, che lavora su capi confezionati per le più esigenti griffe della moda. Evolutasi da semplice azienda di lavaggio e tintura ad un'azienda ad alta tecnologia, ha scelto di fare della sostenibilità ambientale la propria caratteristica distintiva sul mercato.

La produzione media di reflui dallo stabilimento si attesta a 2.400 metri cubi, di cui circa 100 metri cubi derivano dai processi di tintura. Attualmente il processo depurativo consiste in un pretrattamento chimico-fisico succeduto da un impianto biologico a fanghi attivi.

3.6.1 Le prove con impianto pilota

Successivamente ai risultati positivi avuti dai test di trattamento in laboratorio sono state effettuate delle prove in campo con impianto pilota, per validare le performance riscontrate nei test di laboratorio e raccogliere dati utili per il dimensionamento dell'impianto finale. I test hanno visto coinvolto anche il laboratorio interno del Cliente per le prove di tintura con l'impiego della salamoia recuperata.

Le risultanze delle prove in campo sono state:

- Fattibilità del recupero dei cloruri dal bagno di tintura: i rendimenti di recupero dipendono dal colore obiettivo, ma variano da un minimo del 88% per il colore "nero" fino ad un 99.8% per l'oliva";
- Possibilità di ridurre l'impatto di tali bagni di tintura sul depuratore esistente, riducendo il COD del 72% e incrementando l'indice di biodegradabilità del 52%.

3.6.2 Impianto finale

L'impianto commissionato dal Cliente, della potenzialità di 100 mc/d, si compone di due linee di depurazione in serie (Figura 1).

– una di trattamento fisico a membrane ceramiche per il recupero dei sali di tintura ("Linea Brine Recovery")- Tale processo permette di ottenere un'elevata reiezione di ioni con valenza +2 e -2 (come Ca²+, Mg²+ e SO₄²-) mentre gli ioni con valenza +1/-1 (Na+, Cl-) sono in grado di passare nel permeato. Pertanto dopo i trattamenti della linea, l'acqua manterrà la stessa concentrazione di NaCl (circa 100 g/l), senza però colore interferente con i processi di tintura successivamente effettuati con la salamoia recuperata;

- una di ossidazione catalitica avanzata ("Linea EMER")- i concentrati e i contro lavaggi della linea di recupero cloruri, sono invece trattati nella linea di ossidazione a a doppio stadio batch EMER+coagulazione-flocculazione, prima di essere avviati al depuratore esistente.

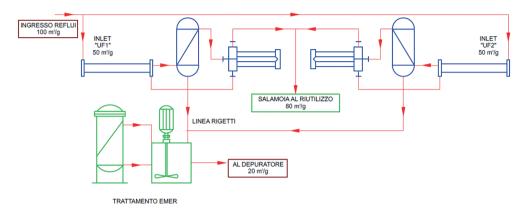


Fig. 1 – Impianto e funzionamento EMER

La configurazione impiantistica del comparto EMER è "a vessels": tale struttura permette una elevata flessibilità di gestione e di regolazione dei parametri operativi (ivi comprese le condizioni fluidodinamiche di contatto dei reflui col catalizzatore all'interno del vessel).

I reflui provenienti dalle linee di recupero cloruri, previa equalizzazione in vasca di stoccaggio, sono addotti in un primo tank di condizionamento, al fine di raggiungere le condizioni ottimali per il trattamento Fenton eterogeneo brevettato "EMER". I reflui, sotto controllo continuo di pH e ORP, sono quindi ricircolati nelle batterie di vessels, ove risiedono le barre magnetiche rivestite del catalizzatore. Terminato il ciclo di ossidazione, i reflui sono inviati al tank successivo ove vengono implementate le fasi di coagulazione, flocculazione e maturazione dei fiocchi. Infine, il refluo è convogliato con apposita pompa volumetrica in testa al sedimentatore dell'impianto esistente al fine di segregare i fiocchi formatisi e spurgarli insieme a quelli di supero normalmente prodotti dal processo biologico esistente.

4. Conclusioni

Sulla base di numerose ricerche condotte nel mondo per il trattamento dei reflui da industria tessile, il processo di ossidazione chimica avanzata si è rivelato uno dei più efficaci ed efficienti sistemi di trattamento dei reflui altamente inquinati e biorefrattari prodotti dalla fase di tintura e finissaggio del processo produttivo.

A tale tecnologia, attuata in modalità EMER- Enhanced Magnetic Heterogeneous Reactor con lo sfruttamento delle proprietà dell'innovativo e brevettato catalizzatore ricavato dalle batterie esauste, IRIDE ACQUE ha inteso affiancare una linea di recupero dei sali di tintura. Ciò non solo per prevenirne lo scarico nell'ambiente, ma per permettere anche un consistente risparmio economico derivante dal riuso degli stessi nel ciclo produttivo. L'innovativo processo EMER Brine Recovery, testato sia a scala di laboratorio, sia di impianto pilota, sarà attuato in un impianto compatto, operativamente molto flessibile e resiliente, completamente automatizzato e conforme all'iniziativa "Industria 4.0" che è in fase di avviamento presso lo stabilimento del Cliente.

Bibliografia

- [1] **Parlamento Europeo:** https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20201208STO 93327/l-impatto-della-produzione-e-dei-rifiuti-tessili-sull-ambiente-infografica L'impatto della produzione e dei rifiuti tessili sull'ambiente. (2023).
- [2] **RC, W.** (s.d.). Hand Book of Chemistry and physics, (58th Edn.). CRC Press, Ohio, US. Roadmap to zero. (s.d.). Tratto da https://www.roadmaptozero.com/
- [3] **P Bautista, A. F.** (2008). An overview of the application of Fenton oxidation to industrial wastewaters treatment. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 83.
- [4] **T.L.P. Dantas, V. M.** (2006). Treatment of textile wastewater by heterogeneous Fenton process using a new composite Fe2O3/carbon. Chemical Engineering Journal 118.
- [5] AA.VV. (s.d.). Indagine tecnica su specifici comparti produttivi finalizzata all'elaborazione di accordi volontari per la riduzione e il recupero dei rifiuti speciali. A.R.R.R. Agenzia Regione Recupero Risorse SpA.
- [6] **L. Di Palma, I. B.** (2022). Prove sperimentali di ossidazione su letto catalitico EMER di reflui ad alto carico. Univesità La Sapienza Dip. Ing. Chimica.
- [7] **Mucchino, C.** (2020). Relazione tecnica sul possibile utilizzo di materiale proveniente da pile esauste, come catalizzatore di processi Fenton-like per l'abbassamento del tenore del COD in acque reflue. Università di Parrma Dip. Chimica.
- [8] C. Agostini, R. L. (2022). Studio sperimentale sull'utilizzo di residui metallici per il trattamento di acque industriali.

THE CHALLENGES OF THE REVISED URBAN WASTEWATER TREATMENT DIRECTIVE

The revised draft of the UWWTD introduced highly challenging objectives and targets which should finally results in new obligations to better control pollution related to urban runoff and stormwater management, imposed stricter standards for nutrient removal and requires advanced, quaternary treatment for the removal of micropollutants (together with a system of extended producer responsibility targeting pharmaceuticals and cosmetics, considered the most abundant emerging pollutants). The energy neutrality has to be implemented in the same treatment plants together with appropriate sludge management (i.e biogas production) enhancing circularity. Finally, also impacts on sewage sludge quality and fate have to be assessed for addressing the sewage sludge directive revision. The papers of this session are dealing with proposals for a smart management of waste water with the reuse of the obtained clean water and sludges.

A cura di: Ecomondo Scientific Technical Committee & UTILITALIA (Italian federation of energy, water and environmental services), Marche Polytechnic University, University of Brescia, IRSA-CNR (Water Research Institute – National Research Council), ASSOARPA (National Association of Regional Environmental Protection Agencies) (TBC)

Presidenti di sessione:

Giorgio Bertanza, University of Brescia

Camilla Maria Braguglia, IRSA-CNR (Water Research Institute – National Research Council) Francesco Fatone, Marche Polytechnic University

Tania Tellini, UTILITALIA (Italian federation of energy, water and environmental services)

Politiche e approcci per la pianificazione e il monitoraggio degli interventi infrastrutturali irrigui per il riutilizzo delle acque reflue depurate in agricoltura

Marianna Ferrigno, marianna ferrigno@crea.gov.it, Veronica Manganiello, Raffaella Pergamo, Myriam Ruberto, Marica Furini, Luca Adolfo Folino, Nadia Crisponi - Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA) Centro di Ricerca Politiche e Bioeconomia

Riassunto

Il più avanzato livello di trattamento dei reflui urbani richiesto dalla revisione della Direttiva 271/91 tenderà a favorirne il riutilizzo, anche a scopo irriguo, riducendone il gap con i requisiti stabiliti dal Reg. 2020/741. Tra gli elementi principali del "sistema di riutilizzo" previsto dal Reg. 2020/741, un ruolo importante è ricoperto dalle infrastrutture di distribuzione a valle dell'impianto di affinamento. Come per la Programmazione sviluppo rurale 2014-22, il nuovo Piano strategico della PAC finanzia infrastrutture irrigue collettive per il riutilizzo irriguo dei reflui affinati. Nel processo di definizione del Piano, si è scelto di vincolare l'accesso al finanziamento per gli Enti irrigui all'inserimento nelle banche dati SIGRIAN e DANIA del CREA PB di dati, pre e post finanziamento, utili a quantificare indicatori di contesto, processo e impatto relativi all'uso irriguo dell'acqua. Di conseguenza, nello specifico, per ciascuno progetto di investimento per l'uso irriguo dei reflui, anche solo candidato a finanziamento, sarà possibile evincere da SIGRIAN informazioni sul contesto territoriale di riferimento (ad esempio, fabbisogno irriguo in rapporto alle colture prevalenti presenti) e da DANIA dati dimensionali e di impatti attesi del singolo progetto (mc di acqua irrigua sostituita con acque reflue depurate, estensione area irrigata e attrezzata sottesa all'intervento), correlabili tra loro in indicatori di impatto (% fabbisogno irriguo soddisfatto da reflui affinati). Se ne riporta un esempio di applicazione. Queste informazioni possono popolare indicatori specifici per le misure a supporto del riutilizzo irriguo dei reflui affinati, come quelli già adottati per il monitoraggio del Programma di Sviluppo Rurale Nazionale 2014-2020 e in alcuni Piani di Gestione di Distretto Idrografico.

Summary

The more advanced level of treatment of urban wastewater required by the revision of Directive 271/91 will tend to promote its reuse, also for irrigation purposes, reducing the gap with the requirements established by Reg. 2020/741. Among the main elements of the "water reuse system" envisaged by Reg. 2020/741, an important role is played by the distribution infrastructure downstream of the reclamation facility. As with the 2014-22 Rural Development programming, the new CAP Strategic Plan finances collective irrigation infrastructures for the irrigation reuse of reclaimed water. As with the 2014-22 Rural Development programming, the new CAP Strategic Plan finances collective irrigation infrastructures for the irrigation reuse of treated wastewater,

in compliance with Reg. 2020/741. In the process of defining the Plan, the access to financing for irrigation investments has been conditioned to the transmission of pre- and post-financing data in the SIGRIAN and DANIA databases of the CREA PB, useful for quantifying context, process and impact indicators relating to the irrigation use of water. In particular, for each investment project for the use of reclaimed water for irrigation, even if only proposed for financing, it will be possible to deduce information on the territorial context of reference from SIGRIAN (for example, irrigation needs in relation to the prevailing crops present) and dimensional data and expected impacts of the individual project from DANIA (m3 of irrigation water replaced with treated wastewater, extension of the irrigated and irrigable area affected by the intervention), which can be correlated in impact indicators (% irrigation requirement satisfied by reclaimed water). An example of its application is given in this paper. This information can populate specific indicators for measures to support the irrigation reuse of reclaimed water, such as those already adopted for monitoring the National Rural Development Program 2014-2020 and in some River Basin District Management Plans.

1. Introduzione

Il riuso delle acque reflue depurate è considerato nel Piano di Azione per l'Economia Circolare[1] un'azione prioritaria da promuovere sul territorio dell'Unione[2], tramite strumenti legislativi e di indirizzo, il cui ultimo atto è stata l'emanazione del Reg. (UE) 2020/741 che definisce condizioni minime per il riuso dell'acqua a fini agricoli. Nonostante i suoi vantaggi [3], ad oggi il ricorso al riuso è al di sotto delle sue potenzialità a causa di diversi ostacoli che il nuovo Regolamento (UE) 2020/741 mira a rimuovere[4]. Una novità del Regolamento è l'approccio basato sul concetto di "sistema di riutilizzo", ricomprendendo quindi tutta la filiera di produzione e uso del refluo affinato[3]. Tra gli elementi principali di questo sistema vi è il complesso di infrastrutture di distribuzione a valle dell'impianto di affinamento. In Italia tali reti sono potenzialmente gestite dagli enti irrigui già responsabili della distribuzione irrigua (in forma collettiva) di più della metà delle acque convenzionali utilizzate. In questo caso, è indispensabile il sostegno pubblico alla realizzazione delle infrastrutture, dal momento che i costi di gestione del servizio irriguo sono a carico dei consorziati mentre quelli di investimento sono a carico pubblico. La scelta di un investimento per il riuso dei reflui affinati, tuttavia, anche per quanto introdotto dall'impianto del nuovo Reg. 2020/741, deve necessariamente innestarsi a seguito di una serie di valutazioni che non dipendono solo dalla qualità progettuale dell'infrastruttura in sé, ma dalla più complessiva attività di pianificazione dell'attività di affinamento, compresa la scelta degli impianti di depurazione da adeguare per il riuso. Su tale processo decisionale incide la potenziale domanda irrigua sul territorio, le colture e sistemi irrigui prevalenti e relativo fabbisogno irriguo, l'esistenza di reti di distribuzione irrigue collettive impiegabili per la distribuzione o di eventuali infrastrutture di connessione con le reti di distribuzione da realizzare, anche al fine di definire le priorità di investimento. Il tutto condizionato alla presenza di un impianto di affinamento atto a produrre reflui affinati di qualità adeguata alle tipologie di colture e praticate nelle aree irrigabili con tale risorsa. Diventa dunque indispensabile poter contare su informazioni di contesto e di investimento complete, aggiornate e condivise tra le istituzioni coinvolte nel processo decisionale.

2. Relazione

In Italia, gli interventi per il riuso irriguo dei reflui affinati sono stati individuati come prioritari fin dalle *Linee guida per il programma nazionale per l'approvvigionamento idrico in agricoltura e per lo sviluppo dell'irrigazione*, sviluppate dal CIPE nel 2002, al pari di quelli per l'aumento della capacità di accumulo e il miglioramento di efficienza delle reti. Pertanto, nella programmazione degli investimenti irrigui, ed in particolare di quelli previsti negli anni dal Ministero dell'agricoltura e rivolti agli Enti irrigui, gli interventi per il riuso sono stati inclusi

tra le azioni finanziabili di diversi programmi di investimento, tra cui il Programma Nazionale per lo Sviluppo Rurale (PSRN) finanziato dal Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale (FEASR) della Politica Agricola Comune (PAC) 2014-2022, su cui è stato possibile candidare a finanziamento progetti per la realizzazione di reti di distribuzione di reflui urbani depurati, a valle di impianti di depurazione già esistenti ed adeguati allo scopo. Il nuovo Piano Strategico Nazionale per la PAC 2023-20237 (PSP) mantiene questa possibilità di finanziamento per interventi compatibili con il Reg. (UE) 2020/741.

2.1 Il finanziamento degli investimenti irrigui per il riuso dei reflui nel PSP

All'interno del PSP, infatti, è stato previsto un intervento per il finanziamento di investimenti irrigui extra-aziendali (SRD08 – Investimenti in infrastrutture con finalità ambientali) che prevede, tra le azioni ammissibili, la realizzazione di investimenti infrastrutturali per l'utilizzo a scopo irriguo di acque reflue affinate.

Oltre che supportare la realizzazione degli interventi programmati, l'intervento SRD08 è stato costruito prevendendo regole di accesso al finanziamento finalizzate a migliorare la disponibilità di dati di contesto e di processo al fine di supportare, nel breve-medio periodo, la programmazione delle politiche di riuso e, nel lungo periodo, la valutazione e il monitoraggio di Piani e Programmi, tra cui i Piani di Gestione Acque (PGA) e lo stesso PSP, attraverso specifici indicatori[5].

Le regole di accesso all'intervento SRD08 sono state, infatti, definite prevedendo requisiti aggiuntivi rispetto a quelli minimi stabiliti dall'articolo 74 del Reg. (UE) 2021/2115 sui Piani strategici della PAC. In particolare, l'accesso al finanziamento da parte degli Enti irrigui è stato subordinato alla registrazione di dati di contesto e di progetto rispettivamente nelle banche dati SIGRIAN e DANIA, sia come condizione di ammissibilità che nella fase post-finanziamento in relazione al progetto e al soggetto beneficiario (Figura 1).

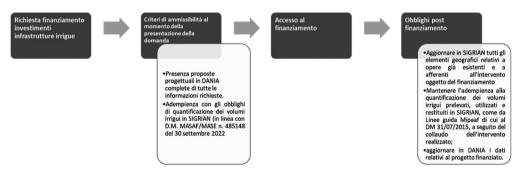


Fig. 1 – Adempimenti relativi alla trasmissione dei dati per il finanziamento degli investimenti irrigui attraverso l'intervento SRD08 del PSP (Fonte: Elaborazioni CREA su Piano Strategico per la PAC 2023-2027 per l'Italia)

SIGRIAN (Sistema Informativo Nazionale per la Gestione delle Risorse Idriche in Agricoltura) è il database nazionale di riferimento per la raccolta di dati e informazioni sull'uso irriguo dell'acqua a scala nazionale, in forza delle Linee guida nazionali sulla quantificazione dei volumi irrigui approvate dal Ministero dell'Agricoltura, della sovranità alimentare e delle foreste nel 2015[6]. SIGRIAN contiene dati geografici ed alfanumerici di natura infrastrutturale, agronomiche e di gestione del servizio irriguo (reti irrigue, superfici sottese e relativi volumi impiegati), riferite a delimitazioni di specifiche porzioni territoriali di ogni Ente irriguo (comprensori, distretti irrigui). Ad esempio, per ogni distretto irriguo SIGRIAN, l'ente irriguo inserisce nella scheda "colture annue" il dato di volume specifico (mc/ha), volume specifico annuo (mc/ha) e volume stagionale (mc), poi validato dalla Regione e P.A. di riferimento. I

dati contenuti in SIGRIAN consentono di quantificare indicatori di contesto, ad esempio i fabbisogni irrigui di una determinata area irrigua.

DANIA (Database Nazionale degli Investimenti per l'Irrigazione e l'Ambiente) raccoglie i progetti di investimento in capo agli Enti irrigui con finalità di irrigazione o di difesa del territorio da fenomeni di dissesto. La catalogazione riguarda informazioni tecniche di dettaglio, di natura finanziaria e procedurale, nonché relative all'inquadramento territoriale degli interventi e delle loro caratteristiche dimensionali, raccolte in quattro sezioni omogenee di informazioni: Anagrafica progetto, Caratterizzazione intervento, Dati finanziari, Monitoraggio intervento[7]. In particolare, i dati presenti nella sezione "Monitoraggio intervento" permettono il popolamento di indicatori di processo che consentono di valutare, ad esempio, il risparmio idrico o il volume di reflui affinati resi disponibili dall'intervento.

L'incrocio tra i due tipi di informazioni (contesto e processo) consente di valutare il contributo atteso dal progetto alla variazione del contesto come, ad esempio, la quota di fabbisogno irriguo che può essere soddisfatta grazie ai volumi irrigui depurati resi disponibili dal progetto. Dunque, combinando i dati di SIGRIAN e DANIA è possibile ottenere opportuni indicatori di contributo, utili sia in fase di programmazione che di monitoraggio dei Programmi di investimento e dei singoli progetti finanziati, per valutare l'efficacia delle politiche[8]. Se ne riporta di seguito un esempio applicativo.

2.2 Esempio di inquadramento e valutazione di un progetto di investimento per il riuso dei reflui dei attraverso i dati SIGRIAN e DANIA

Ciascun progetto presente in DANIA è localizzabile all'interno del WebGIS SIGRIAN attraverso il codice identificativo (ID) dello schema irriguo e dei distretti irrigui SIGRIAN su cui il progetto agisce. Questo consente di collegare ogni progetto alle caratteristiche infrastrutturali, agronomiche ed irrigue dello schema irriguo in cui si inserisce l'intervento e delle aree irrigue ad esso sottese. Per portare un esempio di uso congiunto dei dati DANIA e SIGRIAN, tra i progetti presenti in DANIA è stato selezionato un progetto con livello di compilazione dei dati, sia in DANIA che in SIGRIAN, tale da consentire di individuare: le caratteristiche dell'intervento e lo schema irriguo di riferimento, i volumi di acqua irrigua risparmiata grazie all'utilizzo di reflui, le superfici irrigue sottese e il relativo fabbisogno. L'intervento progettuale considerato, afferente al Consorzio di Bonifica della Gallura in Sardegna, rappresenta uno stralcio esecutivo del progetto definitivo generale "Lavori per la realizzazione della rete di adduzione e distribuzione delle acque depurate provenienti dal depuratore di Olbia e interconnessione con il distretto irriguo di Olbia Nord. Opere di completamento".

2.2.1 Il contesto di riferimento.

In Regione Sardegna, l'incidenza delle fonti di approvvigionamento da risorse superficiali è nettamente prevalente rispetto al prelievo da pozzi e da sorgenti. In particolare, le fonti di approvvigionamento idrico sono rappresentate principalmente da invasi artificiali, spesso finalizzati ad utilizzi multisettoriali e gestiti dall'Ente acque della Sardegna (ENAS). In tale contesto regionale, caratterizzato da deficit idrico, la Regione Sardegna con il Piano di Tutela delle Acque (2006), la Disciplina degli scarichi (2008) e con la Direttiva regionale sul riutilizzo, ha emanato norme e misure volte a favorire il riutilizzo delle acque reflue depurate a fini ambientali, irrigui, industriali e civili, ponendosi tra le Regioni italiane all'avanguardia per quanto riguarda tale materia. Analizzando il WebGIS SIGRIAN, il servizio irriguo del Consorzio di Bonifica della Gallura risulta articolato su tre distretti irrigui: Arzachena, Olbia Nord e Olbia Sud (Figura 2). La principale fonte di approvvigionamento è rappresentata dall'invaso artificiale del Liscia (id fonte 12683), da cui si origina lo schema irriguo denominato Invaso Liscia (id schema 246), a servizio di tutte le aree irrigue consortili dei tre distretti. Si riscontra, inoltre, tra le fonti di approvvigionamento censite in SIGRIAN, il Depuratore di Olbia. Come si evince dalla

relazione di progetto redatta dal Consorzio, l'area di intervento è caratterizzata da lunghi periodi di siccità che comportano una relativa scarsità idrica. Nello specifico, nella porzione territoriale del Distretto irriguo denominato Olbia Nord, la configurazione esistente del sistema di alimentazione non consente di garantire l'approvvigionamento della zona in presenza di eventi siccitosi, con conseguente danno gli agricoltori.

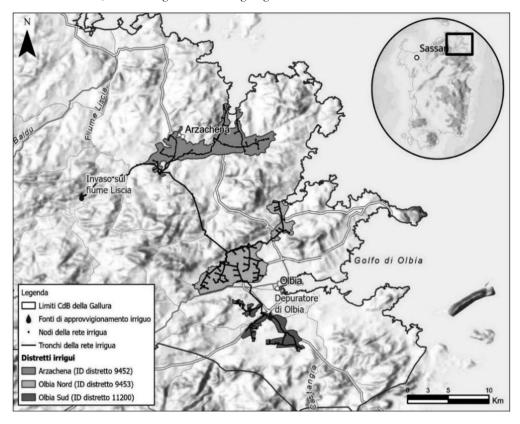


Fig. 2 – Inquadramento dei distretti irrigui interessati dall'intervento (Fonte: elaborazioni su base SIGRIAN)

La Tabella 1 riporta la superficie attrezzata e i relativi volumi dei tre distretti.

Distretto irriguo	Superficie attrezzata [ha]*	Volume utilizzato [mc]**	Volume stagionale [mc]***
Arzachena	2.819	10.184.900	10.184.900
Olbia Nord	2.764	6.930.845	6.930.845
Olbia Sud	930	864.400	864.400
Totale	6.513	17.980.145	17.980.145

^{*}Superficie attrezzata: area del Distretto irriguo su cui sono presenti le opere necessarie all'esercizio della pratica irrigua

Tab. 1 – Indicatori di contesto relativi ai Distretti Arzachena, Olbia Nord e Olbia Sud per l'Anno 2021 (Fonte SIGRIAN, per l'Anno 2021)

^{**} Volume utilizzato: volume annuo utilizzato (misurato o stimato) nel Distretto irriguo

^{***}Volume stagionale: quantità d'acqua erogata effettivamente per l'intera durata della stagione irrigua sulla superficie investita di una specifica coltura

2.2.2 Il progetto.

L'intervento prevede il rafforzamento dell'interconnessione già esistente tra i distretti di Olbia Nord e Olbia Sud, con l'obiettivo di estendere al distretto di Olbia Nord la possibilità di utilizzo del refluo affinato proveniente dal Depuratore di Olbia, situato nel Distretto irriguo di Olbia Sud, e garantendone l'approvvigionamento anche in caso di siccità. L'intervento risulta, dunque, indispensabile per poter estendere i benefici derivanti dall'uso del refluo depurato alle aree del distretto di Olbia Nord. La Tabella 2 riporta gli indicatori di processo riferiti all'area attrezzata sottesa all'intervento e al volume di acqua depurata utilizzabile grazie al progetto.

Acqua irrigua sostituita con Acqua reflua depurata [mc]	Superficie attrezzata sottesa dall'intervento [ha]
7.000.000	2.861

Tab. 2 – Indicatori di processo relativi al progetto (Fonte: DANIA)

2.2.3 Il contributo del progetto.

Sulla base dei dati SIGRIAN al 2021 riferiti ai distretti irrigui di Olbia Nord e Olbia Sud e considerando il contributo atteso presente in DANIA, è possibile affermare che, in caso di necessità, l'intervento consente di servire, mediante reflui depurati, il 77%% della superficie attrezzata dei due distretti (Indicatore di contributo "% area attrezzata irrigabile con reflui affinati"), soddisfacendo il 90% del fabbisogno irriguo (Indicatore di contributo "% fabbisogno irriguo soddisfatto da reflui affinati") (Tabella 3).

% area attrezzata irrigabile con reflui affinati	% fabbisogno irriguo soddisfatto da reflui affinati
[%]	[%]
77%	90%

Tab. 3 - Indicatori di contributo (Fonte: elaborazioni su dati SIGRIAN e DANIA)

3. Conclusioni

L'approccio adottato nel PSP per il finanziamento di investimenti irrigui extra-aziendali, tra cui il riuso irrigui dei reflui, mira ad incentivare il popolamento delle banche dati nazionali di riferimento per la gestione delle risorse idriche nel settore agricolo, SIGRIAN e DANIA, nel solco del percorso nazionale avviato dal 2015 e orientato al miglioramento della conoscenza degli aspetti legati all'impiego della risorsa idrica ai fini irrigui. Questo impianto si pone in linea con quanto già previsto dalla norma nazionale per tutti i progetti di investimento irriguo in capo agli enti irrigui (Decreto interministeriale MASAF/MASE n. 485148 del 30 settembre 2022) e consente di rafforzare le azioni intraprese a livello nazionale a partire dal 2015 per aumentare la disponibilità dei dati in SIGRIAN al fine di accrescerne la rappresentatività in termini di descrizione del contesto territoriale in relazione all'uso dell'acqua ai fini irrigui. Inoltre, consente di disporre di una banca dati di riferimento, DANIA, per la raccolta (e condivisione tra le istituzioni) dei dati utili al popolamento di informazioni di monitoraggio finora quantificate attraverso dati da reperire di volta in volta dai singoli beneficiari.

Le condizioni di ammissibilità previste dall'intervento SRD08 fanno sì, infatti, che per ciascun progetto di investimento, anche solo candidato a finanziamento, sarà possibile evincere dalle due banche dati SIGRIAN e DANIA, rispettivamente, informazioni utili alla definizione del contesto di intervento e al monitoraggio dei singoli progetti e dell'intervento SRD08 nel suo complesso; ciò anche ai fini della valutazione della performance del Programma e della procedura di Valutazione ambientale strategica (VAS). Allargando il campo, queste informazioni

possono popolare specifici indicatori di processo relativi al riuso dei reflui che sono presenti, ad esempio, anche nei Piani di monitoraggio ambientale della VAS dei Piani di Gestione di Distretto Idrografico (indicatore VAS IP10 del PGA DAS "m3 di acqua depurata riutilizzata").

L'importanza di tali indicatori risiede nel contributo a diverse fasi del processo decisionale delle politiche: i) chiarire gli obiettivi in riferimento al problema di interesse; ii) identificare gli impatti particolari e la loro relazione con il raggiungimento degli obiettivi; iii) valutare e selezionare alternative per risolvere il problema, attraverso la valutazione dell'efficacia delle azioni implementate[9]. Essi, inoltre, producono un impatto sulle politiche stesse, influenzandone le riforme [10].

Bibliografia

- [1] "COM (2012)673 Water Blueprint".
- [2] "COM (2015)614 Closing the loop An EU action plan for the Circular Economy".
- [3] M. Ferrigno and M. Furini, "L'economia circolare delle acque reflue in agricoltura," RRNmagazine, vol. 18 febbraio 2023, 2023.
- [4] **R. Zucaro** and **M. Ferrigno**, "Approvato il nuovo Regolamento europeo sul riutilizzo dell'acqua: la situazione italiana," *PianetaPSR*, vol. n.92 giugno 2020, 2020.
- [5] M. Ferrigno, V. Manganiello, M. Ruberto, and R. Pergamo, "Il monitoraggio degli investimenti irrigui extra-aziendali nel PSP," *Pianeta PSR*, vol. 126, no. luglio/agosto, 2023.
- [6] **R. Zucaro, M. Ferrigno, and V. Manganiello**, "Italian approach to quantify water for irrigation." 2019. Accessed: Sep. 08, 2023. [Online]. Available: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:52096132
- [7] M. Ferrigno, R. Lorenzetti, L. A. Folino, and R. Zucaro, "The new Italian web database to support irrigation investment policies: DANIA," *International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 64, 2022, doi: 10.1504/IJSAMI.2022.123047.
- [8] **V. Manganiello** and **M. Ferrigno**, "Le banche dati SIGRIAN e DANIA a supporto delle politiche per l'uso sostenibile dell'acqua in agricoltura e nel quadro di attuazione degli SDGs," *Pianeta PSR*, vol. Aprile 2023, no. 122, 2023.
- [9] **D. Dizdaroglu**, "The Role of Indicator-Based Sustainability Assessment in Policy and the Decision-Making Process: A Review and Outlook," *Sustainability*, vol. 9, no. 6, p. 1018, Jun. 2017, doi: 10.3390/su9061018.
- [10] **D. J. H. te Lintelo, T. Munslow, K. Pittore,** and **R. Lakshman**, "Process Tracing the Policy Impact of 'Indicators,'" *Eur J Dev Res*, vol. 32, no. 4, pp. 1312–1337, Sep. 2020, doi: 10.1057/s41287-019-00244-0.

Sviluppo di una piattaforma innovativa che permette la gestione digitalizzata delle campagne di spandimento di fanghi di depurazione

<u>Giacomo Gardini giacomo.gardini@agromatrici.it</u>, Elisa Casaletta, Leonardo Visconti, Paolo Sturini – Agromatrici S.r.l.-Tromello

Riassunto

Lo sviluppo di tecnologie di monitoraggio dell'attività di recupero in agricoltura di biomasse di scarto (fanghi di depurazione e prodotti da essi derivanti) rappresenta un tema fondamentale per la salvaguarda di un settore cruciale nel recupero di sostanza organica e nutrienti da destinare all'agricoltura. La piattaforma Ginevra permette di registrare tutte le informazioni legate alle operazioni di trattamento del rifiuto(materia prima), dal suo ingresso al sito di WASTE MANAGEMENT fino alla campagna di distribuzione sui suoli in qualità di fertilizzante tramite la comunicazione di diversi sistemi gestionali all'interno di una piattaforma di agricoltura di precisione, dal quale si ottengono mappe georeferenziate delle quantità distribuite su ogni appezzamento. Grazie al crescente sviluppo del settore dell'Agricoltura 4.0 la piattaforma è stata oggetto di un ampio progetto di implementazioni che la rendono un caso unico nella realtà del settore.

Summary

The development of technologies for monitoring the recovery of waste biomass (sewage sludge and its by-products) in agriculture is a key issue in safeguarding a crucial sector in the recovery of organic matter and nutrients for agriculture. The Ginevra platform makes it possible to record all the information related to treatment operations from the moment it enters in the waste management plant, through the communication of different management systems within a precision agriculture platform, from which georeferenced maps of the quantities distributed on each plot are obtained. Thanks to the growing development of the Agriculture 4.0 sector, the platform has been the subject of an extensive implementation project, making it a unique case in the sector.

1. Introduzione

Ripensare, ridefinire, ridurre, riutilizzare, riciclare, recuperare le risorse.

Tale approccio è al centro dell'economia circolare. La ricerca e l'innovazione rafforzano l'approccio circolare nei settori dell'agricoltura e della silvicoltura, generando nuove idee e sviluppando ulteriormente quelle già esistenti. Al centro della "circolarità" si sviluppano le tecniche di recupero/trattamento degli scarti e dei rifiuti, che vengono inseriti nuovamente nel circuito agricolo, restituendo in maniera naturale la fertilità al terreno e gli elementi nutritivi essenziali per fare agricoltura.

Il riutilizzo dei fanghi in agricoltura è molto discusso a livello sia regionale che nazionale, in quanto considerata una risorsa in termini di contenuto di nutrienti e sostanza organica, ma necessitano di un controllo puntuale per quanto concerne il contenuto di inquinanti organici ed inorganici.

L'obbiettivo del lavoro è quello di uscire definitivamente dal concetto di "smaltimento di rifiuti" e considerare il recupero in agricoltura come un processo di valorizzazione delle risorse nel pieno rispetto dell'economia circolare.

Per poter essere considerati ai fini agronomici un fertilizzante, i fanghi (ma anche I gessi) devono essere adottati con i criteri con cui i fertilizzanti vengono utilizzati, quindi con una valutazione della necessità del loro impiego in termini quali/quantitativi inserendosi nelle logiche evolute dell'agricoltura 4.0.

La possibilità di migliorare le rese delle colture agricole senza alterare le caratteristiche agro-ecologiche dei suoli è una sfida che deve essere accolta e affrontata.

Una delle sfide che il mondo agricolo si troverà ad affrontare negli anni a venire, è l'esigenza di soddisfare le richieste della crescente popolazione mondiale, contando su risorse sempre più limitate.

L'azoto è infatti contenuto in fertilizzanti prodotti con ingente utilizzo di combustibili fossili, mentre fosforo e potassio ad oggi, in larga parte, provengono dallo sfruttamento di giacimenti, fonti finite e non rinnovabili.

Nel contesto della gestione integrata della filiera legata al recupero e al trattamento delle biomasse derivanti dalla depurazione delle acque, Evergreen Italia, supportata dal know-how di Agromatrici hanno dato impulso allo sviluppo di progetti volti alla valorizzazione agronomica di correttivi e ammendanti ottenuti da queste importanti risorse.

La piattaforma (Piattaforma Ginevra) è stata sviluppata sulle specifiche esigenze di Evergreen Italia, al fine di poter tracciare completamente il totale dei quantitativi annui di biomasse in ingresso sia nello stabilimento di Tromello, che di San Giorgio in Lomellina (PV) e poter gestire, attraverso una concimazione a rateo variabile, tutti i prodotti in uscita dai siti di trattamento.

La Piattaforma utilizza le tecniche di precision farming ad oggi disponibili sugli oltre 10.000 ettari di terreni convenzionati.

L'agricoltura di precisione (site-specific farming) è infatti definita come gestione spaziale degli input produttivi a livello di campo attraverso un approccio basato sulla conoscenza delle variabili quali esigenze colturali, caratteristiche fisiche/chimiche del suolo e caratterizzazione analitica dei prodotti applicati.

Avvalendosi di moderne strumentazioni si riesce a somministrare la giusta quantità, al posto giusto, al momento giusto e nel modo giusto così da ridurre l'entità degli input (risparmio economico), accrescere la resa e ridurre l'impatto ambientale. Approccio che sta gradualmente rivoluzionando l'agire in molti paesi a livello globale.

Nella Piattaforma Ginevra confluiscono i dati relativi alla caratterizzazione analitica dei biosolidi e dei correttivi, sia in ingresso sia in uscita, e i dati della caratterizzazione chimico/fisica dei suoli destinati al recupero agricolo.

L'organizzazione coordinata nella Piattaforma Ginevra della grande mole di dati analitici permette di seguire l'andamento della filiera in tutte le sue fasi attraverso la creazione di lotti identificativi associati univocamente ad un'analisi di caratterizzazione, i quali, combinati coi dati relativi alla caratterizzazione dei suoli nelle mappe di prescrizione, permettono di gestire al meglio le risorse in funzione delle reali necessità, garantendo sicurezza ambientale e benefici agronomici.

Il binomio agricoltura-tecnologia è alla base del concetto di agricoltura 4.0. Tale processo vede la trasformazione dei sistemi di produzione tradizionali in moderni sistemi produttivi, che sfruttano tecnologie informatiche e di comunicazione per coordinare e pianificare anzitempo le attività, ma anche aumentare la redditività e la sostenibilità in agricoltura, nonché garantire un'ottimale allocazione delle risorse, poggiando sull' ormai comprovato ruolo dell'innovazione nel raggiungimento dell'obbiettivo di riduzione delle emissioni in atmosfera.

2. Relazione

2.1 Metodologia

2.1.1 Realizzazione del sistema informatico per lo scambio dati tra le diverse piattaforme

Lo sviluppo della piattaforma si basa sulla realizzazione di un sistema di comunicazione tra diversi sistemi gestionali per ottenere la tracciabilità accurata dei fertilizzanti organici lungo l'intero processo, dalla loro produzione a partire da rifiuti fino all'applicazione nei campi coltivati. A tal fine è stata sviluppata la piattaforma integrata che agevola la comunicazione mediante l'utilizzo di una cartella FTP dedicata.

La piattaforma integrata comprende tre componenti chiave. Inizialmente, il Sistema di Gestione dei Rifiuti (CSG) gestisce il ciclo completo dei rifiuti, monitorando ogni fase del processo di trasformazione in fertilizzanti organici. Questo sistema produce dati dettagliati che descrivono le caratteristiche dei fertilizzanti risultanti. Parallelamente, il Sistema di Analisi dei Terreni e dei Fertilizzanti raccoglie e conserva le analisi di laboratorio effettuate sia sui terreni agricoli che sui lotti di fertilizzante organico. Queste analisi forniscono dati essenziali per calibrare le dosi di fertilizzante e garantire un'applicazione precisa.

La Piattaforma di Agricoltura di Precisione, terza componente della piattaforma, si integra con i dati generati dai sistemi precedenti. Questa piattaforma utilizza tecnologie di mappatura e GPS per agevolare una distribuzione ottimizzata e mirata dei fertilizzanti, contribuendo al miglioramento delle pratiche agricole.

2.1.2 Software di agricoltura di precisione

Per quanto riguardo lo sviluppo di tecnologie innovative per la distribuzione di fanghi di depurazione in agricoltura è stato sviluppato un servizio customizzato per la gestione delle campagne di spandimento.

Il sistema ha previsto la digitalizzazione di tutti gli appezzamenti oggetto di autorizzazione, suddivisi per azienda agricola (Fig. 1). Su tali dati georeferenziati vengono automaticamente accoppiate le relative analisi dei terreni e indici del vigore vegetativo per la produzione di mappe di prescrizione del concime organico [1].

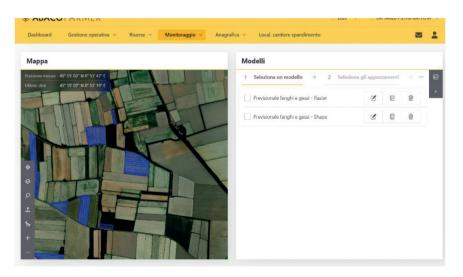


Fig. 1 – Particelle digitalizzate su cui applicare algoritmi per calcolo previsionale

Le mappe di prescrizione vengono generate applicando uno specifico algoritmo all'area interessata dallo spandimento, la mappa di prescrizione contiene le informazioni georeferenziate rispetto alle quantità da applicare, secondo le esigenze delle colture e delle necessità dei terreni, calcolate attingendo alle informazioni provenienti dal sistema gestionale che fornisce i rapporti di prova sui terreni e sui lotti impiegati nella concimazione.

2.1.3 Sistemi di mappatura del suolo

Acquisire una comprensione approfondita delle variazioni del terreno è di fondamentale importanza per ottimizzare la gestione degli input agricoli e calcolare la massima resa produttiva di ciascun appezzamento di terreno.

In Fig.2 un sensore TSM, ovvero un sensore geoelettrico che, attraversando la superficie del campo, consente di rilevare le differenze nella tessitura del terreno all'interno dell'area in esame [2].

Il funzionamento di un sensore TSM è basato sull'invio di un segnale da una estremità all'altra del dispositivo. La velocità con cui il segnale viene ricevuto fornisce indicazioni sulla tessitura del terreno. Un terreno con una tessitura grossolana (caratterizzato da particelle di grandi dimensioni come la sabbia) presenta una bassa conducibilità elettrica. Al contrario, un terreno con tessitura fine, come l'argilla, mostra un elevato contatto tra le particelle, facilitando la rapida conduzione del segnale elettrico.

La ragione per cui è rilevante determinare la presenza di sabbia o argilla in una zona è legata alle informazioni che queste caratteristiche forniscono sulla fertilità del suolo. La creazione di una mappa della tessitura del terreno consente di mappare la distribuzione delle diverse componenti e di trasformarla successivamente in una mappa di fertilità. Quest'ultima può poi essere utilizzata come base georeferenziata per pianificare operazioni agricole come la concimazione, la semina e altre pratiche colturali per diversi anni.

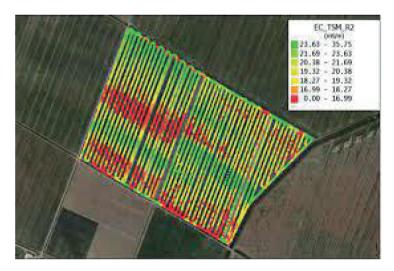


Fig. 2 - Mappa georefenziata delle caratteristiche del terreno prodotta dal sensore TSM

2.1.4 Spandiletame elettronico

Le informazioni raccolte durante l'anno vengono impiegate all'interno della Piattaforma per il calcolo delle dosi di prodotto da distribuire in maniera georefenziata. Per far sì che questo avvenga è necessario che la macchina sia in grado di recepire le informazioni sulla distribuzione e adeguare il rateo sulla base della sua posizione geografica in maniera estremamente precisa.

A tale scopo vengono impiegati speciali mezzi spandiconcime, dotati di GPS [3] e sistemi di controllo della dose sparsa prodotti dalla ditta Franzosi. Fig. 4.

All'interno del progetto BiomassHub co-finanziato da Regione Lombardia i mezzi impiegati per le campagne di distribuzioni sono stati oggetto di interventi per renderli altamente innovativi, in particolare diverse sperimentazioni sono state organizzate dal team CREA presso la struttura di Treviglio, Centro di Ricerca per l'Ingegneria e le Trasformazioni Agroalimentari. Sono state avviate attività per valutare i materiali da distribuire (caratterizzazione fisica) e per analizzare i siti in cui vengono impiegate macchine meccaniche per la distribuzione mirata dei materiali [4].

2.1.5 Monitoraggio del cantiere di spandimento e reportistica.

Il sistema di monitoraggio è stato reso possibile tramite l'adozione nelle cabine di guida dei trattori di monitor Ag Leader InCommand 1200, tale monitor permette la comunicazione tra il sistema satellitare del trattore e la componente elettronica che regola lo spandiletame.

Ag Leader fornisce inoltre il software che permette la gestione dei dati ottenuti e la loro registrazione. Creando automaticamente report per gli agricoltori ed Enti di controllo.

2 2 Risultati

2.2.1 Creazione di sistema di interscambio e implementazione del sistema di agricoltura di precisione nella gestione delle campagne di spandimento

La comunicazione tra i sistemi gestionali è centralizzata attraverso una cartella FTP dedicata (https://filezilla-project.org). Questo approccio facilita uno scambio dati sicuro ed efficiente tra i vari componenti della piattaforma. I dati vengono caricati periodicamente nella cartella FTP da ciascun sistema, garantendo la tempestività degli aggiornamenti e l'accessibilità a tutte le parti coinvolte.

Il progetto ha permesso la digitalizzazione di tutti gli appezzamenti delle aziende agricole interessate dalle operazioni di recupero di fertilizzanti.

Oltre alla possibilità di consultare le consistenze catastali sono stati implementati algoritmi in grado calcolare automaticamente le dosi da distribuire sulla base delle informazioni provenienti dalla cartella di scambio FTP e dai parametri agronomici (satellite o sensore per la mappatura del suolo).

2.2.2 Sviluppo di un rover prototipale per la creazione di mappe di fertilità potenziale dei suoli. Contestualmente è stato realizzato un rover prototipale (Fig. 3) per la mappatura dei terreni tramite metodi speditivi e la raccolta di campioni geolocalizzati con lo scopo di proporre un sistema innovativo per il monitoraggio del terreno in grado di ridurre i tempi e i costi di analisi per creare delle mappe della variabilità di granulometria e sostanza organica dei terreni. Il prototipo è un grado di effettuare autonomamente scansioni geoelettriche per la mappatura della resistività e di effettuare campionamenti del suolo in punti prestabiliti mediante una trivella idraulica dotata di autocampionatore.

Le mappe prodotte dal rover possono essere inserite all'interno della piattaforma e utilizzate in alternativa o accoppiamento ai dati satellitari sula vigoria della coltura per la creazione delle mappe di prescrizione.



Fig. 3 - Rover prototipale

2.2.3 Messa in opera del nuovo spandiconcime elettronico e test dei sistemi prototipali a rateo variabile

Nelle giornate del sono state svolte prove dinamiche di distribuzione di concimi organici caratterizzati da diverse densità, al fine di creare la retta di taratura con il quale nell'operatività decidere tra 3 diverse tipologie di materiale a seconda della densità (Alta, media, bassa).

Grazie al monitor presente in cabina sono stati svolte e registrate più di 100 mappe di prescrizione durante la stagione 2023, ad ogni mappa di prescrizione è stata inoltre associata la relativa mappa di distribuzione che mostra le quantità effettivamente apportate al suolo durante la distribuzione.

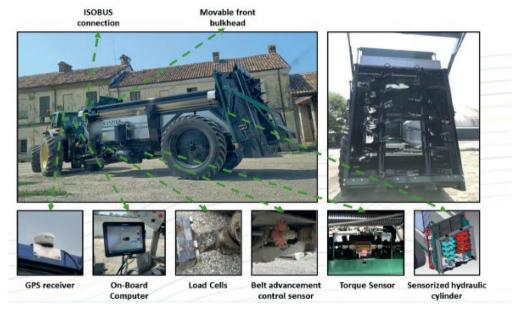


Fig 4 - Schema delle implementazioni sul carro spandiconcime

2.3 Discussione

A seguito della realizzazione della Piattaforma Ginevra è stato messo a punto e testato uno spandiletame prototipale dotato di sistemi innovativi di controllo del rateo variabile. Sono state svolte prove dinamiche di distribuzione di concimi organici caratterizzati da diverse densità, al fine di creare la retta di taratura con il quale nell'operatività decidere tra 3 diverse tipologie di materiale a seconda della densità: bassa, media e alta. Grazie al monitor presente in cabina sono stati svolte e registrate più di 100 mappe di prescrizione durante la stagione 2023, ad ogni mappa di prescrizione è stata inoltre associata la relativa mappa di distribuzione che mostra le quantità effettivamente apportate al suolo durante la distribuzione.

Al fine di testare tutti gli elementi innovativi della piattaforma e del nuovo mezzo distributore, nella primavera del 2023 è stata avviata una sperimentazione che ha convolto 3 aziende della zona della Lomellina ,dove è stata prevista la replica di 3 tesi sperimentali corrispondenti a concimazione organica a rateo variabile, concimazione organica standard (a rateo costante) e concimazione esclusivamente minerale a rateo costante in appezzamenti di circa 3 ha per un totale di 27 ha, coltivati a mais da trinciato.

A seguito della raccolta del mais trinciato che avverrà a fine agosto, attraverso trincia dotata di sistema GPS per la mappatura delle rese, verranno opportunamente elaborati dati che permetteranno di confermare ulteriormente le divergenze tra i sistemi di distribuzione.

3. Conclusioni

Ginevra è una piattaforma innovativa che permette la gestione digitalizzata delle campagne di spandimento di fanghi di depurazione, nata dall' esigenza di promuovere la tracciabilità informatizzata e certificata della filiera legata alla trasformazione di scarti e rifiuti organici in prodotti idonei all'utilizzo agricolo, secondo le più avanzate tecnologie di agricoltura di precisione.

Ginevra è una piattaforma gestionale grazie alla quale si possono formulare non solo consigli di concimazione, che coniughino la disponibilità di prodotti con le esigenze dell'agricoltore e l'attitudine dei suoli a riceverli, ma soprattutto il mezzo attraverso il quale può essere garantito, tracciato e controllato il rispetto della normativa vigente (dalla fase di conferimento di tale scarto da parte dei depuratori alle piattaforme di trattamento; dalla fase di notifica dell'attività di spandimento georeferenziato sino a quella del recupero agricolo in campo, su suoli mappati), nonché delle reali necessità della coltura tramite distribuzione a rateo variabile, assicurando al contempo la circolarità del processo e la sua completa tracciabilità.

I risultati ottenuti dall'applicazione delle funzioni e degli strumenti di agricoltura di precisione all'interno della piattaforma sono stati confrontati con i risultati ottenuti da una modalità di lavoro "tradizionale" con risultati promettenti su diverse colture (mais da trinciato, da granella e riso).

Oltre a garantire la completa tracciabilità delle operazioni di recupero in agricoltura, le tecnologie a rateo variabile applicate a concimi organici dimostrano di migliorare l'efficienza nell'uso dei fertilizzanti ottenuti da matrici di scarto, riducendo gli sprechi e minimizzando il rischio di impatti ambientali negativi.

Bibliografia

- [1] M. Krishnan., "Adaptive modeling and control of a manure spreader for precision agriculture"
- [2] P. Reyns., "A Review of Combine Sensors for Precision Farming"
- [3] G. Cabassi., M. Corti., N Pricca., G. Gardini., E. Casaletta., "L'utilizzo dei reflui zootecnici nella coltivazione 4.0 del mais" Edizioni Edagricole
- [4] A. Lazzari., S. Giovinazzo., C. Bisaglia., E. Romano., M. Cutini., A. Assirelli.,
- **G. Cabassi., D. Rizzini., M. Ometto., G. Gardini., M. Brambilla.,** "Design of Manure Spreader Wagon for Sewage Sludge's Precision Distribution" SHWA Ragusa

INNOVATION AND POLICIES

VERSO UN PROGRAMMA NAZIONALE PER LA SIMBIOSI INDUSTRIALE: PROSPETTIVE E OPPORTUNITÀ PER L'ITALIA

Nel giugno 2022, la Strategia Nazionale di Economia Circolare (SNEC) ha individuato la simbiosi industriale come policy per la transizione verso l'economia circolare. A tal fine, è stato pubblicato, successivamente, il Cronoprogramma di attuazione della SNEC che prevede alcune prime misure per sostenere la simbiosi industriale a livello operativo e cioè: l'approvazione dei «Progetti Faro di economia circolare», (inv. 1.2 della M2C1) legati al PNRR; lo sviluppo e l'applicazione dello strumento delle reti di impresa e dei distretti circolari in collaborazione con i diversi stakeholder; e una piattaforma digitale per favorire le sinergie simbiotiche tra le diverse aziende. I contributi di questa sessione presentano alcune iniziative, anche private, implementate nell'ambito del programma nazionale di simbiosi industriale.

A cura di: Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo, ENEA, SUN (Symbiosis Users Network)

Presidenti di sessione:

Alessandra De Santis, economiacircolare.com Laura Cutaia, ENEA – Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi produttivi e Territoriali; Presidente SUN

Future thinking to take action today: mettere le buone pratiche in pratica

Antonio Franceschini, federmoda@cna.it, CNA Nazionale, Roma, Caterina Mazzei, CNA Nazionale, Roma, Mariagrazia Berardi, CNA Milano – CNA Lombardia, Milano

Riassunto

"Come conseguenza della pubblicazione della EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles, quali impatti si immaginano nei distretti produttivi italiani al 2035?". Questo il leitmotiv del progetto di CNA vincitore della call "Small but Perfect". Visione di futuri per agire oggi: il progetto origina dalla promozione di eccellenze italiane del panorama sostenibile, identificandone i tre pilastri, ossia la formazione, la ricerca e l'innovazione, e il riciclo, e prefigurando le prospettive del settore moda.

Nella maggior parte dei casi, le micro-piccole, e medie imprese (MPMI) non sono consapevoli del cambiamento in atto sospinto dalla pubblicazione della Strategia e delle direttive e regolamenti annunciati in essa. Al fine, pertanto, di ragionare e fornire una rappresentazione del futuro in modo strutturato, il progetto di CNA ha inteso progettare un percorso pensato con e per le micro-piccole e medie imprese per stimolare la riflessione su come potrebbero evolvere le situazioni future e identificare le opportunità e le sfide associate a tali scenari.

La metodologia di esplorazione ha visto un primo momento di studio dei tre pilastri della sostenibilità attraverso la visita in realtà aziendali virtuose rappresentative della formazione, la ricerca & innovazione, e il riciclo, e, a seguito, l'utilizzo di tecniche per l'esplorazione dei futuri alternativi sottoponendo le MPMI e gli altri stakeholder al workshop partecipativo "Future thinking to take action today".

Il confronto tra l'analisi delle realtà aziendali virtuose, emblema del futuro desiderabile, e il metodo esplorativo usato durante il workshop che, muovendosi dal presente verso il futuro, ha permesso di vedere dove diversi eventi e trend possono portare, è risultato in: una valutazione degli impatti sul business e sui distretti produttivi, e dei possibili problemi, sfide, e possibili soluzioni per superarli; un piano di "pensiero anticipatorio" attraverso cui le MPMI e gli altri stakeholder del workshop hanno prospettato le azioni da intraprendere nel presente per raggiungere il futuro preferibile/desiderato.

Summary

"As a consequence of the EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles publication in 2022, what impacts can we imagine in Italian production districts by 2035?". This was the leitmotif of the CNA project winner of the "Small but Perfect". Vision of the future to act today. The project originates from the promotion of Italian excellence in the sustainable panorama, identifying its three pillars: training, research and innovation, and recycling, and prefiguring the fashion sector perspective.

In most cases, micro-small and medium-sized enterprises (SMEs) are unaware of the change underway driven by the publication of the Strategy and the directives and regulations announced therein. Therefore, to reason and provide a representation of the future in a structured way, the CNA project aimed to constitute a path with SMEs to stimulate reflection on how future situa-

tions could evolve and identify the opportunities and challenges associated with such scenarios. The exploration methodology saw a first moment of study of the three pillars of sustainability through visits to virtuous enterprises representing training, research & innovation, and recycling, and, subsequently, the use of techniques for the exploration of alternative futures by subjecting SMEs and other stakeholders to the participatory workshop "Future thinking to take action today".

The comparison between the analysis of virtuous enterprises, the symbol of the desirable future, and the exploratory method used during the workshop which, moving from the present towards the future, allowed us to see where different events and trends can lead, resulted in an evaluation of the impacts on the business and on the production districts, and of the possible problems, challenges, and possible solutions to overcome them; an "anticipatory thinking" plan through which the SMEs and other stakeholders of the workshop envisaged the actions to be taken in the present to achieve the preferable/desired future.

1. Introduzione

1.1 La EU strategy for sustainable and circular textiles

Il 30 marzo 2022 è stata pubblicata dalla Commissione Europea la Strategia europea per il tessile sostenibile e circolare [1] attraverso il quale l'Unione Europea ha espresso le problematiche legate alle esternalità negative prodotte dal settore, e le azioni da implementare entro il 2030 per la loro mitigazione.

"Entro il 2030 i prodotti tessili immessi sul mercato dell'UE saranno durevoli e riciclabili, in larga misura costituiti da fibre riciclate, privi di sostanze pericolose e prodotti nel rispetto dei diritti sociali e dell'ambiente. I consumatori beneficiano più a lungo di tessili di elevata qualità a prezzi accessibili, la moda rapida è fuori moda e vi è un'ampia disponibilità di servizi di riutilizzo e riparazione economicamente vantaggiosi. In un settore tessile competitivo, resiliente e innovativo, i produttori si assumono la responsabilità dei loro prodotti lungo la catena del valore, anche quando tali prodotti diventano rifiuti. L'ecosistema tessile circolare è prospero e si fonda su capacità sufficienti per il riciclaggio innovativo a ciclo chiuso, mentre l'incenerimento e il collocamento in discarica dei tessili sono ridotti al minimo." [1]

Pertanto, l'obiettivo della EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles è garantire che entro il 2030 tutti i prodotti tessili immessi sul mercato europeo siano durevoli e riciclabili, realizzati il più possibile con fibre riciclate, privi di sostanze pericolose e prodotti nel rispetto dei diritti sociali e dell'ambiente, facendo leva su sei pilastri specifici: l'introduzione dei requisiti obbligatori per la progettazione ecocompatibile; il divieto di distruzione dei capi invenduti; combattere l'inquinamento da microplastiche; l'introduzione del Digital Product Passport; contrasto alla pubblicità verde ingannevole; istituzione del regime di responsabilità estesa del produttore e riciclo dei rifiuti tessili.

1.2 I Futures Studies

Gli "studi sul futuro" sono una disciplina olistica e interdisciplinare che mira a esplorare i futuri possibili. L'obiettivo principale è anticipare gli scenari possibili per affrontare meglio le sfide causate dall'accelerazione dei cambiamenti nella tecnologia, nella società, nell'economia, e nella politica.

Un mondo complesso richiede nuovi strumenti per affrontare nuove sfide. La previsione da sola non è sufficiente; essa deve essere supportata dalla lungimiranza e dall'anticipazione.

La "Futures wheel" (**Fig. 1**) è un metodo di studio per identificare e confezionare le conseguenze primarie, secondarie e terziarie di tendenze, eventi, questioni emergenti e possibili decisioni future.

Essa è stata inventata nel 1971 da Jerome C. Glenn, allora studente della Antioch Graduate School of Education, oggi Antioch University New England. [2]

La Ruota dei "futuri" è una sorta di brainstorming strutturato, un modo per interrogarsi sul futuro nel seguente modo: il nome di una tendenza o di un evento è scritto al centro della ruota; gli impatti o le conseguenze primarie sono scritti alla fine di ogni raggio; gli impatti secondari formano un secondo anello della ruota. Gli impatti o le conseguenze sono disegnati con l'aiuto della matrice S.T.E.E.P; quest'ultima rappresenta lo strumento per effettuare una analisi socio-culturale, tecnologica, economica, ambientale/ecologica, e politica.

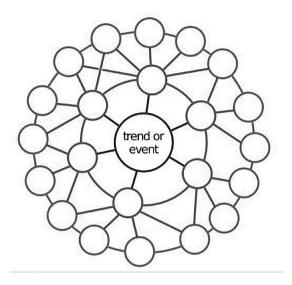


Fig. 15 – La ruota dei "futuri" Trend or event – Glenn La ruota dei "futuri" Trend or event - Glenn, Jerome C., The Futures Wheel, Futures Research Methodology Version 3.0, The Millennium Project, Washington, D.C. 2009

2. Relazione

2.1 I casi-studio

L'organizzazione del progetto si è protratta attraverso un primo momento di esplorazione e analisi del "futuro preferibile/desiderabile": lo studio delle tre leve della sostenibilità secondo CNA, attraverso la visita in realtà aziendali virtuose rappresentative della formazione, la ricerca & innovazione, e il riciclo.

2.1.1 La formazione

L'Accademia aMa – Maria Tomassini attraverso il Master sulla calzatura [3], a San Mauro Pascoli (Emilia-Romagna) origina dalla consapevolezza che la formazione specialistica è l'unico strumento attraverso cui trasmettere competenze e artigianato nel tempo. L'Academy, corso di formazione dell'assemblaggio della calzatura ideato nell'azienda Smart Leather, ne sono la dimostrazione: da un lato una piccola impresa della pelletteria, e al contempo così "strutturata" di risorse e valori da fondare un'accademia. È dirimente, difatti, la necessità di colmare le esigenze formative non soddisfatte nel distretto dagli enti di formazione presenti, e la consapevolezza che, in caso di non azione, si sarebbe potuta verificare la scomparsa di un mestiere chiave come quello dell'orlatrice.

2.1.2 Ricerca e innovazione

Il Centro Tessile Cotoniero e Abbigliamento SpA di Busto Arsizio VA (Lombardia) è, nel panorama europeo, uno dei centri di ricerca maggiormente riconosciuti per l'eccellenza che offre a supporto delle imprese del settore tessile abbigliamento moda. È la sua doppia anima che permette tale primato: da un lato le attività tecniche con, ad esempio, i test per il rilascio delle certificazioni, e le prove richieste dai brand per le prestazioni dei tessuti o dei prodotti, oltre che le attività di formazione; dall'altro, un nuovo pilastro fondativo, ossia l'area di ricerca e innovazione multi-settoriale, che recentemente si è dotata di un proprio "Multilab" [4].

Il laboratorio multi-settoriale nasce al fine di creare sperimentazione a servizio dell'industria, e quindi delle imprese. Questo percorso si struttura nelle varie aree interconnesse che compongono il Multilab: riciclo, con le analisi di riciclabilità dei prodotti e dei materiali, e le valutazioni delle prestazioni sui materiali derivanti da riciclo meccanico e termomeccanico, oltre che le analisi ambientali sui nuovi processi produttivi. Il supporto a tali sperimentazioni è rappresentato da M3P Next Generation, piattaforma avanzata che favorisce l'incontro tra tecnologie, scarti industriali, e servizi per sostenere concretamente la transizione verso l'economia circolare dell'intero settore.

2.1.3 L'economia circolare: il riciclo meccanico della lana

Il distretto del tessile di Prato (Toscana) detiene il primato globale sulla economia circolare industriale per via di un know-how sviluppato in maniera sistemica e sistematica già dalla metà dell'Ottocento.

È la forza della rete che fa ben comprendere il successo e il virtuosismo del distretto, poiché ASTRI (associazione tessile riciclato italiana) [5] rappresenta le aziende che sul territorio operano in questa filiera: la raccolta dei rifiuti e degli scarti tessili; la cernita; la selezione e lavorazione della frazione dei materiali in lana, che viene distinta per colore, e ai quali vengono rimossi zip, bottoni, etichette; le lavorazioni, dalla lavastraccia al processo di asciugatura, che rendono gli stracci nuovo materiale per la produzione della lana rigenerata o lana meccanica; la fase di studio del colore – non si parla di tintura – poiché il risultato finale è realizzato attraverso l'unione di tanti colori; la filatura per la produzione del filato cardato in diverse composizioni e peso a seconda della destinazione.

Alcuni elementi particolari caratterizzano la lavorazione della "lana di Prato": la macchina detta lavastraccia è l'unica tecnologia che, grazie all'azione dell'acqua e dei cilindri, permette ai tessuti vecchi di sciogliere le trame e aprire le fibre, garantendo l'integrità di queste ultime per consentire un materiale rigenerato lungo, quindi di qualità, e riciclabile infinitamente; la fase della tintura è inesistente perché un'altra caratteristica di questa lavorazione è che la fibra rigenerata è già colorata dalla precedente lavorazione; Prato è, inoltre, il distretto in cui trecento industrie sono collegate con l'acquedotto industriale "Gida", un impianto dove le acque derivate dagli scarichi industriali vengono depurate e riutilizzate dalle industrie tessili. Best practice del territorio è anche Rifò [6], che dalla sua nascita dopo il crowdfunding nel 2017, ha iniziato un percorso che unisce economia circolare, artigianalità e moda sostenibile attraverso l'utilizzo di materie prime rigenerate.

2.2 Obiettivi e potenziali sviluppi

Nella maggior parte dei casi le MPMI non sono consapevoli dei cambiamenti sospinti dalla "Strategia dell'UE per prodotti tessili sostenibili e circolari" per il 2030: ad oggi, la Strategia designa una linea programmatica e politica, mentre le norme cogenti indicate al proprio interno saranno pienamente attuative entro il 2030. Per tal motivo, nell'ambito del medesimo progetto e a seguito delle visite aziendali, è stata organizzata una iniziativa collettiva che ha

previsto l'utilizzo di tecniche per l'esplorazione dei futuri alternativi sottoponendo le MPMI e gli altri stakeholder al workshop partecipativo di previsione "Future thinking to take action today".

Il workshop ha visto la distinzione in due momenti analitici: analisi di contesto, ossia delle tappe di cui alla Strategia e dei megatrend che hanno un impatto sulle attività industriali e imprenditoriali del settore moda, oltre che delle tre aziende virtuose visitate assieme, emblema del futuro desiderabile; un secondo momento in cui i partecipanti – attraverso lo strumento della "Ruota del futuro" – sono stati invitati a pensare e valutare gli impatti socio-culturali, tecnologici, economici, ambientali e politici della Strategia sul loro futuro business e sul loro distretto produttivo. Il metodo esplorativo utilizzato, muovendo l'analisi del contesto dal presente verso il futuro, ha permesso di vedere dove diversi eventi e trend possono portare, e – soprattutto – quanto si è distanti dal futuro preferibile/ desiderabile.

2.3 Strumenti, modelli, e risultati conseguiti

Il workshop origina al fine di aiutare le MPMI a immaginare l'impatto della transizione circolare in una visione sistemica. Partendo dalla strategia per il tessile circolare e sostenibile e dai principali megatrend che hanno un impatto sulla loro attività, le MPMI sono state invitate a pensare agli impatti e alle conseguenze derivate dalla strategia e dalle prossime direttive sul futuro delle loro aziende in modo sistemico attraverso lo strumento della "Futures Wheel".

Al centro della Ruota è stato riportato il nome della tendenza: "siamo nel 2035 e la Strategia UE per il tessile circolare e sostenibile è stata implementata; quali sono gli impatti sulla mia azienda e sul mio distretto produttivo/ecosistema?". I partecipanti, a seguito, sono stati invitati a pensare: agli impatti positivi o negativi primari o alle conseguenze da scrivere nel primo anello della ruota; agli impatti secondari di ogni impatto primario da scrivere nel secondo anello; ai terzi impatti e creare un terzo anello. Per ottenere una visione più sistemica, i partecipanti sono stati invitati a considerare i collegamenti incrociati degli impatti. Gli impatti sono stati elencati con l'aiuto della matrice STEEP: gli impatti socio-culturali, tecnologici, economici, ambientali e politici. Ne è nato, pertanto, un elenco che ha permesso di valutare i diversi e interconnessi impatti sul business e sui distretti produttivi, e dei possibili problemi, e sfide.

L'esercizio di costruzione della "matrice degli impatti" ha poi permesso la creazione di un piano del "pensiero anticipatorio" attraverso cui le MPMI e gli altri stakeholder del workshop hanno prospettato le azioni da intraprendere nel presente per raggiungere il futuro preferibile/desiderato (Tab. 1).

L'obiettivo finale è stimolare il pensiero futuro e un approccio più resiliente, spingendo all'anticipazione, elencando e visualizzando le possibili azioni da intraprendere nel presente per raggiungere un futuro preferibile/desiderato.

Azioni da implementare oggi per un futuro positivo per il settore moda nel 2035				
Sociale	Tecnologico	Ecologico	Economico	Politico
1. Cambiare mindset e rivoluzione culturale 2. Incentivi in formazione	1. Incentivi in ricerca e sviluppo		1. Per ogni distretto, costituzione di una filiera del recupero tessile post consumo e post industriale/ pre consumo 2. Operare nell'ottica della filiera 3. Nuovi modelli di business	1. Regolamenti e direttive chiare e mirate per supportare il made in Italy (es. vedere modello francese) 2. Comunicazione istituzionale orientata a raccontare la sostenibilità della filiera italiana 3. Decreto end of waste 4. Incentivi/ promozione e tutela 5. Targettizzate i finanziamenti (soprattutto ex PNRR) rispetto alle reali esigenze e ai bisogni dell'economia reale 6. Sburocratizzazione

Tab. 1 – Piano di un sistema anticipatorio: azioni da intraprendere nel presente per raggiungere un futuro preferibile/desiderato ottenuti dal Gruppo di Lavoro del workshop conclusivo tenuto nell'ambito del progetto di CNA Federmoda per "Small but Perfect"

Conclusioni

Il progetto di CNA Federmoda [7] vincitore della call "Small but Perfect" [8] è nato all'obiettivo di raccontare il ruolo dell'artigianato e della micro-piccola e media impresa nella creazione di valore sostenibile. Al contempo, è riconosciuta la stringente necessità di supportare tutti gli operatori del settore verso la transizione ecologica, e in particolare verso un futuro in cui la sostenibilità diverrà gradualmente obbligatoria.

Se da un lato è emersa l'importanza di valorizzare le eccellenze italiane, e raccontare il ruolo dell'artigianato e della micro-piccola impresa nella creazione di valore sostenibile e duraturo nel tempo, troppo spesso dimenticato, e molte volte non riconosciuto, dall'altro, è necessario intraprendere delle iniziative per fare in modo che sia garantita la continuità dei sistemi produttivi nazionali e soprattutto la creazione di valore condiviso e diffuso. L'obiettivo è quello di garantire la continuità strutturale negli anni rispetto agli obiettivi di cui alla Strategia, ma ancor prima quello di fornire un corretto e continuo supporto agli operatori del settore attraverso il "future thinking", supporto fondamentale alla resilienza e alla adattabilità dei sistemi, che fornisce un diverso approccio alla complessità. Tuttavia, come emerso dai risultati dell'esercizio dei "futuri", l'orientamento politico prima che legislativo deve essere maggiormente ambizioso nel delineare un percorso strategico su misura per le MPMI. Nel settore della moda, le micro e piccole imprese, e le imprese artigiane, forniscono un contributo rilevante in termini di numero di imprese, addetti, fatturato e valore aggiunto: affrontare il tema della sostenibilità senza considerare la reale struttura del settore rappresenterebbe una lacuna molto grave e non permetterebbe il raggiungimento dei risultati attesi.

Bibliografia

- [1] COM(2022) 141 final, "EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles" https://eur-lex.europa.eu/ resource.html?uri=cellar:9d2e47d1-b0f3-11ec-83e1-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF;
- [2] Glenn, Jerome C., The Futures Wheel, Futures Research Methodology Version 3.0, The Millennium Project, Washington, D.C. 2009;
- [3] ACCADEMIA MARIA TOMASSINI, https://www.mariatomassinibags.com/accademy-ama/;
- [4] **CENTROCOT Multilab**, <u>https://www.centrocot.it/ricerca-e-sviluppo/multi-lab/</u>;
- [5] **ASTRI**, <u>https://astrirecycling.it/en/astri-recycling-2/</u>;
- [6] **RIFO**, https://rifo-lab.com/;
- [7] Progetto CNA Federmoda "Putting best practices into practice: three Italian case studies of sustainable best practice making in an EU knowledge sharing project", https://www.youtube.com/watch?-v=4H1fnP127Mc&t=644s&ab_channel=CnaMilano
- [8] Progetto collaborativo co-finanziato dal COSME programme della Commissione Europea "Small but Perfectly Formed", https://www.small-but-perfect.com/resources

Prospettive e limiti dell'attuale assetto normativo rispetto alla realizzazione dell'economia circolare

Francesca Bonino, francesca.bonino@advant-nctm.com, Valentina Cavanna Advant Nctm, Milano

Riassunto

La transizione verso un'economia circolare è uno degli obiettivi principali posti a livello dell'UE. Tra le azioni ritenute necessarie, vi sono la progettazione di prodotti sostenibili e la circolarità dei processi produttivi, agevolando la simbiosi industriale. Tra le principali catene di valore, ritroviamo ad esempio il settore tessile. Uno degli aspetti importanti è la creazione di un mercato dell'Unione efficiente per le materie prime secondarie (quindi con un rafforzamento delle iniziative connesse ai sottoprodotti e all'End of Waste) e lo sviluppo di forme di Responsabilità Estesa del Produttore. Per quanto riguarda il nostro Paese, inoltre, diverse sono le iniziative che puntano sull'implementazione di misure per la simbiosi industriale, tra le quali, il PNRR e la SNEC. Scopo del presente contributo è illustrare le prospettive e i limiti dell'attuale assetto normativo rispetto alla realizzazione degli obiettivi di cui sopra, anche al fine di verificarne l'efficacia.

Summary

The transition to a circular economy is one of the main goals set at the EU level. Among the actions deemed necessary, there are sustainable product design and circularity of production processes, facilitating industrial symbiosis. Among the main value chains, we find, for example, the textile sector. One of the important aspects is the creation of an efficient EU market for secondary raw materials (thus with a strengthening of initiatives related to by-products and End of Waste) and the development of Extended Producer Responsibility. As far as our country is concerned, moreover, the PNRR focuses on the implementation of measures for industrial symbiosis. The purpose of this contribution is to describe the prospects and limits of the current regulatory framework with respect to the realization of the above objectives, also in order to verify its effectiveness.

1. Introduzione

L'economia circolare rappresenta una strategia che crea una frattura netta con l'impostazione tradizionale dell'economia (c.d. "lineare"), caratterizzata dalla visione approvvigionamento-produzione-utilizzo-scarto. Si tratta di un'economia che cerca di eliminare (o limitare al massimo) la produzione di rifiuti, privilegiando due tipi di flussi di materiali: quelli biologici, in grado di essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnici, destinati ad essere rivalorizzati senza entrare nella biosfera [1]. L'idea è dunque quella di riutilizzare i materiali il più possibile.

A livello dell'UE, a dicembre 2019 [2], è stata pubblicata la comunicazione della Commissione europea sul "*Green Deal*" europeo, che descrive in modo puntuale e concreto le politiche considerate fondamentali per trasformare l'economia; tra queste, un ruolo determinate è occupato dall'economia circolare.

Successivamente, a marzo 2020, la stessa Commissione ha diffuso "Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare per un'Europea più pulita e più competitiva" [3], che esprime la necessità di accelerare in modo significativo il passaggio all'economia circolare.

A tal fine, il consumo delle risorse è stato posto al centro dell'attenzione. Lo scopo è ridurre l'impronta dei consumi e raddoppiare le percentuali di utilizzo dei materiali circolari nel prossimo decennio.

Sebbene le misure poste in essere al fine di dare seguito agli obiettivi di economia circolare siano ancora in via di sviluppo, come si vedrà *infra* esistono tuttavia dei limiti che, talvolta, impediscono ai soggetti coinvolti di adottare dei corretti modelli di comportamento coerenti con i principi dell'economia circolare.

2. La prospettiva italiana

A ottobre 2017 il governo italiano aveva approvato il documento "Verso un modello di economia circolare per l'Italia" [4]; successivamente, anche in seguito alle iniziative europee sopra descritte, è sorta l'esigenza di aggiornare e adeguare la strategia sull'economia circolare nell'ambito della più ampia prospettiva dello sviluppo sostenibile.

A tal riguardo, il PNRR punta, tra l'altro, sull'implementazione di misure per la simbiosi industriale. In particolare, nella Missione 2 "Rivoluzione Verde e Transizione ecologica", esso prevede di definire una nuova strategia nazionale per l'economia circolare, includendovi anche il sostegno all'applicazione della simbiosi industriale.

A settembre 2021 è stato pubblicato il documento "Strategia nazionale per l'economia circolare. Linee programmatiche per l'aggiornamento" [5] al quale è seguito il Cronoprogramma di attuazione delle misure della Strategia nazionale per l'Economia Circolare [6] ("SNEC" o la "Strategia"), pubblicato a settembre 2022. Con detta Strategia si vogliono, in primo luogo, definire i nuovi strumenti amministrativi e fiscali per rafforzare e allo stesso tempo potenziare il mercato delle materie prime, affinché siano competitive in termini di disponibilità, prestazioni e costi. In secondo luogo, si mira al raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica e a definire una roadmap di azioni e di target misurabili fino al 2035.

3. In particulare: End of Waste

Tra le diverse misure poste in essere per favorire la "circolarità", è stato in primo luogo valorizzato il processo attraverso il quale un rifiuto cessa di essere tale, per mezzo di procedure di recupero (c.d. "End of Waste" – "EoW").

Il concetto di EoW è disciplinato, a livello UE, dall'articolo 6 della Direttiva 2008/98/CE e, nel nostro Paese, dall'articolo 184-ter del D.Lgs. 152/2006. Quest'ultima disposizione attribuisce al Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica ("MASE"), in assenza di criteri fissati a livello europeo, la competenza a emanare decreti ministeriali contenenti criteri e condizioni che determinate categorie di rifiuti, sottoposti a processo di recupero, devono rispettare affinché possano cessare di essere tali. In mancanza di predetti decreti, l'EoW può essere autorizzato "caso per caso"; a tal proposito, l'articolo 184-ter, c. 3 impone il rispetto di specifiche condizioni e la conformità delle operazioni di recupero, tra l'altro, al DM 5 febbraio 1998.

Ad oggi, vi sono diversi settori per i quali è prevista una disciplina *ad hoc* per la cessazione della qualifica di rifiuto (si pensi, ad esempio, ai decreti in materia di carta e cartone e combustibili solidi secondari).

Tuttavia, l'implementazione dell'EoW può talvolta essere ostacolata da una serie di fattori, come la mancanza di criteri per specifici settori, o la persistenza di riferimenti a normative adottate in tempi risalenti, che genera spesso lacune, incongruenze e difficoltà di coordinamento sotto molteplici profili (tra i quali, anche quello terminologico). Si pensi, a tal proposito, alla situazione di stallo che si era venuta a creare negli anni scorsi in seguito alla sentenza

del Consiglio di Stato 8 febbraio 2018 [7]. o alla difficoltà di coordinare il DM 5 febbraio 1998 con le previsioni attualmente contenute nel D.Lgs. 152/2006 (basti notare che, ad esempio, nel DM 5 febbraio 1998 è ancora previsto il riferimento alle "Materie Prime Seconde").

4. In particolare: la Responsabilità Estesa del Produttore

Altro aspetto basilare dell'economia circolare è il concetto di Responsabilità Estesa del Produttore ("EPR", "Extended Producer Responsibility"), strettamente connesso al principio "chi inquina paga" (art. 191 TFUE – il Trattato sul Funzionamento dell'Unione). Per effetto di tale concetto, il produttore di un determinato prodotto è obbligato a farsi carico anche del fine vita del prodotto stesso. Tale responsabilità, in particolare, si concretizza sia direttamente sotto il profilo gestionale/organizzativo, sia finanziario. In altri termini, chi produce, importa o comunque immette sul proprio territorio nazionale un bene, si assume la responsabilità del corretto fine vita del prodotto una volta che questo è diventato rifiuto.

La EPR è stata introdotta dalla Direttiva 2008/98/CE e recepita nell'ordinamento italiano con gli articoli 178, 178-bis e 178- ter del D.Lgs. 152/2006; essa costituisce un vero e proprio pilastro dell'economia circolare. È infatti su questo concetto che si basa la prospettiva di un sistema industriale che sia capace di riutilizzare i materiali il più possibile.

In Italia, le misure legislative che istituiscono gli schemi di EPR attualmente in vigore concernono alcuni particolari settori, tra i quali: gli imballaggi; i rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche ("RAEE") di cui al Decreto Legislativo 14 marzo 2014, n. 49; nonché le pile e gli accumulatori esausti ("RIPA") di cui al Decreto Legislativo 20 novembre 2008, n. 188. In linea generale, il produttore, al fine di adempiere gli obblighi previsti per effetto del principio di EPR, si organizza con forme di gestione individuali ovvero aderendo ai c.d. sistemi collettivi esistenti sottoforma di consorzi che si occupano, per conto dei produttori, della raccolta e della gestione dei rifiuti.

Lo schema di EPR costituisce così uno degli strumenti chiave nella realizzazione della "circolarità" dell'economia: esso dovrebbe infatti contribuire a «internalizzare i costi del fine vita includendoli nel prezzo del prodotto e incentivare i produttori, al momento della progettazione dei loro prodotti, a tenere conto in maggior misura della riciclabilità, della riutilizzabilità, della riparabilità e della presenza di sostanze pericolose in fase di progettazione» [8].

5. Focus: l'EPR nel settore tessile

L'UE genera 12,6 milioni di tonnellate di rifiuti tessili all'anno. L'abbigliamento e le calzature da soli rappresentano 5,2 milioni di tonnellate di rifiuti, pari a 12 kg di rifiuti per persona ogni anno. Attualmente, solo il 22% dei rifiuti tessili post-consumo viene raccolto separatamente per essere riutilizzato o riciclato, mentre il resto viene spesso incenerito o messo in discarica [9].

Nel 2020 l'Unione Europea ha inserito i prodotti tessili nel suo Piano d'Azione sull'economia circolare (di cui si è detto al Paragrafo 1), sottolineando altresì che si stima che meno dell'1% di tutti i prodotti tessili nel mondo siano riciclati in nuovi prodotti.

Nel marzo 2022 la Commissione europea ha presentato così una nuova Strategia per rendere i tessuti più durevoli e riciclabili, in larga misura costituiti da fibre riciclate, privi di sostanze pericolose e prodotti nel rispetto dei diritti sociali e dell'ambiente; la finalità è quella di affrontare il fenomeno della c.d. *fast fashion*, stimolando altresì l'innovazione nel settore (ad esempio, una progettazione ecocompatibile) [10].

Come per gli altri settori di cui al paragrafo precedente, anche per i manufatti tessili emerge il concetto di circolarità e, di conseguenza, l'applicazione del concetto di EPR. Secondo quanto affermato dalla Commissione nella Strategia del 2022, «è essenziale rendere i produttori responsabili dei rifiuti creati dai loro prodotti per dissociare la produzione di rifiuti tessili dalla

crescita del settore»; a tal proposito, si intende adottare norme armonizzate dell'UE in materia di EPR per i tessili «con un'ecomodulazione delle tariffe. L'obiettivo principale sarà creare un'economia per la raccolta, la cernita, il riutilizzo, la preparazione ai fini del riutilizzo e il riciclaggio, nonché predisporre incentivi per i produttori e le marche affinché garantiscano che i loro prodotti sono concepiti nel rispetto dei principi di circolarità». A tal proposito, la Commissione ha così adottato una proposta (datata 5 luglio 2023) di modifica della Direttiva 2008/98/CE [11].

Nel frattempo, a febbraio 2023, il MASE ha annunciato l'arrivo di un decreto sulla EPR per il settore tessile [12].

Il decreto individuerà un quadro di adempimenti per la filiera tessile di abbigliamento, calzature, accessori, pelletteria e tessili per la casa, istituendo – auspicabilmente – un regime completo e del tutto coerente con la Strategia nazionale per l'economia circolare. Come per gli altri schemi di EPR, anche nel settore del tessile si prevede che il produttore si faccia carico «del finanziamento e della organizzazione della raccolta, dell'avvio a preparazione per il riutilizzo, riciclaggio e recupero dei rifiuti derivanti dai prodotti tessili». Il produttore potrà adempiere agli obblighi mediante la costituzione di un sistema di gestione "in forma collettiva o individuale". Lo stesso produttore assicurerà altresì idonei mezzi finanziari e organizzativi per realizzare una «capillare rete di raccolta de rifiuti tessili sul tutto il territorio nazionale», attraverso i sistemi di gestione e in accordo con gli Enti d'ambito, così come «lo sviluppo di sistemi di raccolta selettivi per incrementare la qualità delle frazioni tessili». Il versamento di un "contributo ambientale", «non dovrà superare i costi necessari per fornire il servizio di gestione dei rifiuti in modo efficiente e dovrà favorire l'innovazione orientata verso modelli di economia circolare».

6. Conclusioni

Da un punto di vista ambientale, l'economia circolare è necessaria per affrontare le problematiche che colpiscono non solo il nostro continente, bensì il mondo intero, come il degrado ambientale e il cambiamento climatico, nonché la disponibilità di risorse limitate.

Gli strumenti normativi ad oggi adottati vanno nella direzione della realizzazione di tale circolarità; si pensi in particolare allo sviluppo dell'EoW e al diffondersi di schemi EPR.

Tuttavia, in considerazione di quanto si è detto nel presente contributo, esistono ancora ostacoli ad una piena implementazione; risulta infatti, talvolta, necessaria una maggior chiarezza del dato normativo o, in altri casi, è opportuno un aggiornamento della disciplina applicabile, anche al fine di evitare difficoltà applicative e interpretative che possono ostacolare una piena realizzazione dell'economia circolare.

Bibliografia

- [1] Ellen MacArthur Foundation, Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition, 2013.
- [2] Commissione Europea, Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale europeo e al Comitato delle Regioni. Il Green Deal europeo, Bruxelles, 11 dicembre 2019, COM(2019) 640 final.
- [3] Commissione Europea, Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale europeo e al Comitato delle Regioni. Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare per un'Europa più pulita e più competitiva, 11 marzo 2020, COM(2020) 98 final.
- [4] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare Ministero dello Sviluppo Economico, *Verso un modello di economia circolare per l'Italia*, ottobre 2017.
- [5] Ministero della Transizione Ecologica, Strategia nazionale per l'economia circolare Linee Programmatiche per l'aggiornamento, settembre 2021.
- [6] Ministero della Transizione Ecologica, Cronoprogramma di attuazione della Strategia Nazionale per l'economia circolare, settembre 2022.

- [7] **V. Cavanna**, Sottoprodotti e cessazione della qualifica di rifiuto: quali novità con il D.Lgs. n. 116/2020?, in Ambiente&Sviluppo, 2020, n. 10, pagg. 771 segg.
- [8] **G.** Amendola, La responsabilità estesa del produttore quale asse portante dell'economia circolare nella normativa comunitaria e nel d.lgs. n. 116/2020, in RDGA, 2021, n. 1.
- [9] **Commissione Europea**, Circular economy for textiles: taking responsibility to reduce, reuse and recycle textile waste and boosting markets for used textiles Press release, 5 luglio 2023.
- [10] Commissione Europea, Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale europeo e al Comitato delle Regioni. Strategia dell'UE per prodotti tessili sostenibili e circolari, 30 marzo 2022, COM (2022) 141 final.
- [11] Proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio c he modifica la Direttiva 2008/08/CE sui rifiuti, COM(2023) 420 final.
- [12] Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, Tessile/Moda: MASE, per sostenibilità e minore impatto su ambiente arriva la responsabilità estesa del produttore, 2 febbraio 2023, all'indirizzo https://www.mase.gov.it/comunicati/tessile-moda-mase-sostenibilita-e-minore-impatto-su-ambien-te-arriva-la-responsabilita.

L'uso dell'LCA nelle aziende multinazionali del packaging tra standard consolidati e nuovi framework e linee guida

<u>Valentino Tascione, v.tascione@unich.it</u>, DEc-Università "G. d'Annunzio", Chieti-Pescara Alberto Simboli, DEc-Università "G. d'Annunzio", Chieti-Pescara Michele del Grosso, Aptar Italia S.p.A., Pescara Andrea Raggi, DEc-Università "G. d'Annunzio", Chieti-Pescara

Riassunto

Le aziende multinazionali investono sempre di più nella valutazione degli impatti ambientali del ciclo di vita dei prodotti utilizzando lo strumento LCA (Life Cycle Assessment). Accanto a standard consolidati che guidano la sua applicazione, sono nate nuove linee guida che specificano alcuni aspetti metodologici influenzati da soggettività (come la scelta dei confini del sistema) che possono falsare la comparazione tra prodotti e pregiudicare la coerenza dei dati. In questo contesto, sempre di più le aziende del packaging devono far fronte alle richieste dei clienti B2B che, per uno stesso prodotto, potrebbero richiedere la conformità dell'analisi a documenti differenti, generando confusione. Questo studio confronta tre linee guida LCA utilizzate nel settore packaging, per evidenziarne differenze e analogie e fornire le basi per un sistema di gestione che ottimizzi i processi di analisi LCA interne in modo da rispondere efficientemente alle diverse esigenze.

Summary

Multinational companies are increasingly investing in the assessment of environmental impacts of product life cycles using the Life Cycle Assessment (LCA) tool. Alongside well-established standards that guide its application, new guidelines have emerged that specify some methodological aspects influenced by subjectivity (such as the choice of system boundaries) that can bias product comparisons and affect data consistency. In this context, packaging companies have increasingly to deal with the requests of B2B customers who may require analyses for the same product to comply with different documents, thus generating confusion. This study compares three LCA guidelines used in the packaging industry to highlight their differences and similarities, and to provide the foundation for a management system that optimizes internal LCA analysis processes to efficiently respond to different requirements.

1. Introduzione

Dalla sua nascita la Life Cycle Assessment (LCA) è passata dall'essere un'attività di nicchia svolta da accademici e da poche aziende lungimiranti ad una pratica ormai largamente utilizzata [1]. Nonostante le ISO 14040-44 [2;3] rimangano i punti di riferimento per le analisi LCA, nel corso del tempo sono state messe a punto diverse linee guida (come il GHG Pro-

tocol o le Product Category Rules – PCR) che hanno permesso a esperti di LCA e aziende di disporre di nuovi framework che riflettono un più ampio allineamento tra gli stakeholders e consentono di avere a diposizione metodologie coerenti [1]. Tuttavia, non c'è ancora una sufficiente standardizzazione che consenta di avvalorare affermazioni eque e comparabili, essenziali per differenziare i prodotti sul mercato in base alle loro prestazioni ambientali [4]. In generale, linee guida di prodotto e/o settore possono svolgere un ruolo importante, permettendo ai vari attori della supply chain di utilizzare dati e parametri più omogenei, e ottenere risultati potenzialmente più attendibili, comparabili, condivisibili e quindi comunicabili a stakeholders e clienti finali. Tuttavia, la proliferazione di standard, framework e linee guida sta evidenziando, soprattutto in alcuni settori, criticità legate a differenze di approcci utilizzati, che possono potenzialmente disorientare gli utenti e rendere più complesso e lungo l'iter di elaborazione di analisi LCA. In letteratura alcuni autori hanno svolto un'analisi comparativa di alcuni standard consolidati e linee guida per comprenderne le differenze, auspicando una maggiore armonizzazione. Tra questi, Gao et al. [5] hanno comparato diversi standard di valutazione dell'impronta di carbonio (PAS 2050, TS-Q 0010, Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard, ISO14047 per i prodotti) relativamente a più aspetti metodologici (es: confini del sistema, allocazione, regole di cut-off, unità funzionale, qualità e tipologia di dati, metodo di calcolo, reporting e comunicazione). Schrijvers et al. [6], invece, hanno focalizzato l'analisi sulle procedure di allocazione studiando la coerenza delle linee guida e standard ufficiali (ISO 14044, ISO/TR 14049, ISO/TS 14067, il manuale ILCD, BP X30-323-0, PAS 2050, GHG Protocol, EN15804, la PEF Guide e i documenti guida per le EPD e PCR) con alcuni criteri da loro precedentemente identificati.

Trasferendo il problema a livello settoriale, il quadro può ulteriormente complicarsi. Ne è di esempio il settore packaging in plastica, di recente oggetto di attenzione (es. per problemi legati all'uso di materia prima di origine fossile e alla gestione del loro fine-vita) e ambito di riferimento del presente studio. Lo scopo è analizzare le linee guida settoriali recentemente prodotte, evidenziandone analogie e differenze, al fine di contribuire a comprendere potenzialità e rischi connessi, in vista di una gestione sistematica delle richieste di analisi LCA da parte delle aziende interessate.

2. Strumenti e metodi e linee guida analizzate

Lo studio condotto prende a riferimento il caso di un'azienda multinazionale del settore packaging fornitrice di sistemi di erogazione, soprattutto per l'industria cosmetica, a cui viene richiesta, da parte dei clienti B2B (Business to Business), la conformità delle analisi LCA a differenti linee guida: il Pathfinder Framework (PF) [7], la SPICE (Sustainable Packaging Initiative for CosmEtics) Methodological Guidelines (SMGS) [8] e le PCR 2013:19 for Dispensing Systems [9].

L'analisi comparativa dei tre framework è stata svolta in base ai seguenti aspetti metodologici: i) unità di analisi; ii) confini del sistema; iii) categorie d'impatto; iv) metodi di impact assessment; v) inventario; vi) trasporto; vii) cut-off; viii) metodi di allocazione; ix) emissioni di CO₂ biogenica, rimozioni e land use; x) gestione dei rifiuti pre-consumer; xi) End of Life; xii) qualità dei dati; xiii) normalizzazione e pesatura; xiv) analisi di sensibilità. Di seguito viene presentata una panoramica degli aspetti principali.

Il PF è il risultato del lavoro del PACT (The Partnership for Carbon Transparency), promossa dal World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) per l'adozione di un approccio intersettoriale che aiuti le organizzazioni a sviluppare e scambiare le impronte di carbonio dei prodotti basate su dati primari lungo tutto il ciclo di vita. I requisiti in esso contenuti mirano a migliorare ulteriormente l'affidabilità e la coerenza dei dati tra i settori e le supply chain [7]. È applicabile in diversi ambiti ed è richiesto anche nel settore packaging.

Il PF prevede una gerarchia di priorità dei documenti a cui far riferimento, che pone al primo posto l'utilizzo di PCR, se esistenti. Secondariamente, a supporto del PF stesso, bisogna prediligere le regole specifiche di settore (es. Plastics Europe) e infine standard intersettoriali (es. GHG Product Standard, ISO 14067).

La SMGs, invece, è un'iniziativa che riunisce le organizzazioni dell'industria cosmetica che hanno l'obiettivo comune di "definire il futuro del packaging sostenibile" [8]. Mira a stabilire i requisiti minimi e le raccomandazioni per fornire informazioni credibili sulla sostenibilità degli imballaggi e incoraggiare lo sviluppo di packaging più sostenibili. Infine, le PCR 2013:19 for Dispensing Systems forniscono regole per analisi LCA comparabili di prodotti con la medesima funzione [9]. Sono di supporto alle EPDs (Environmental Product Declarations) di tipo III destinate principalmente alla comunicazione tra imprese e regolate dalla ISO 14025 [10].

Le PCR offrono alcuni vantaggi, come una maggiore coerenza e comparabilità delle valutazioni basate sulle stesse regole, trasparenza dei requisiti e del processo di sviluppo, indicazioni e chiarezza per gli utenti che effettuano valutazioni all'interno dei settori merceologici e flessibilità di utilizzo da parte di qualsiasi soggetto [4]. La categoria di prodotto della PCR 2013:19 for Dispensing Systems oggetto di analisi corrisponde a un sottoinsieme di UN CPC 36490 (Altri articoli per il trasporto o l'imballaggio di merci, di plastica, tappi, coperchi e chiusure di plastica) e a un sottoinsieme di UN CPC 42999 (Merci in metallo N.E.C., corrispondente ai sistemi di dosaggio metallici) [9]. Le caratteristiche principali delle tre linee guida analizzate sono riportate in Tabella 1.

	PF	SMGs	PCR 2013:19
ORIGINE	The Partnership for Carbon Transparency (PACT), promossa dal World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)	Organizzazioni dell'industria cosmetica.	Supporto alle EPD regolate dalle ISO 14025.
SCOPO	Aiutare a sviluppare e scambiare informazioni sulla Carbon Footprint lungo la supply chain.	Fornire una metodologia completa e scientificamente valida per valutare l'impatto ambientale degli imballaggi di cosmetici durante il ciclo di vita del prodotto.	Fornire maggiore coerenza e comparabilità delle performance ambientali dei prodotti.
APPLICAZIONE	Tutte le categorie di prodotto.	Packaging dell'industria cosmetica.	Dispensing Systems.

Tab 1 – Sintesi delle principali caratteristiche dei tre documenti analizzati.

3. Risultati e discussione

I tre documenti analizzati fanno riferimento all'uso dell'LCA come strumento di valutazione e sono stati analizzati in un'ottica B2B, sebbene le PCR possano essere utilizzate anche per la comunicazione ai consumatori finali.

Per quanto riguarda lo scopo, le PCR, in generale, forniscono una guida che permette ai produttori di pubblicare i risultati delle performance ambientali dei prodotti che posso-

no consentire ai clienti di confrontare i risultati con quelli di prodotti simili. Il PF vuole facilitare lo scambio di dati primari tra i partner della catena del valore, relativamente allo Scope 3 dell'azienda a valle e in riferimento alle sole emissioni di GHG (Greenhouse Gases). Inoltre, il PF definisce le modalità di comunicazione e scambio dei dati lungo la catena del valore. Infine, le SMGs ha lo scopo di fornire linee guida metodologiche per l'esecuzione di una valutazione ambientale quantificata degli imballaggi nell'industria cosmetica. 3.1 I confini del sistema

La definizione dei confini del sistema assume un ruolo cruciale nella gestione dell'analisi LCA all'interno delle aziende. Confini uguali permettono di poter confrontare adeguatamente due o più prodotti sulla base degli stessi processi. Inoltre, anche se, in linea generale, più sono ampi i confini maggiore sarà l'attendibilità e la coerenza del risultato finale, a volte confini più stretti assicurano una maggiore qualità del dato poiché relativi a processi di cui si dispone delle informazioni necessarie. Rispondere ad una richiesta di analisi LCA da parte di un cliente seguendo una delle tre linee guida significa comprendere e/o escludere parti del ciclo di vita. Ma, laddove ci fosse, da parte di un altro cliente, una richiesta di conformità ad un diverso documento, tali fasi potrebbero dover essere escluse/integrate.

Delle tre linee guida analizzate, la SMGs è quella con i confini più ampi (Fig. 1). Infatti, prevede un'analisi "from cradle to grave" ("dalla culla alla tomba"), ricomprendendo, quindi, le fasi inerenti alla vendita, all'uso e al fine vita, anche del packaging secondario e terziario. Per questo tipo di confini, però, si formulano una serie di ipotesi di scenari relative a quei processi a valle che non sono sotto il controllo diretto dell'azienda. Anche le PCR richiedono un'analisi "dalla culla alla tomba", ma nei processi di "downstream" (a valle) è ricompreso solo il fine vita del prodotto imballaggio. Dei tre framework, solo il PF richiede un'analisi "dalla culla al cancello", coerentemente con l'obiettivo del documento di risolvere la questione della disponibilità dei dati primari rientranti nello "Scope 3", e cioè riferiti ai processi a monte.

Per quanto riguarda lo stoccaggio dei prodotti all'interno dei magazzini e i relativi consumi, la PCR non prevede il calcolo dei flussi relativi a questa fase, a differenza del PF e della SMGs. Inoltre, quest'ultima, avendo confini più ampi e ricomprendendo tutte le fasi a valle, include anche lo stoccaggio nei punti vendita. I dati relativi a quest'ultimo aspetto, non essendo sotto il diretto controllo dell'azienda, possono non rispecchiare i reali consumi. Il packaging secondario e terziario è compreso in tutti e tre i framework, anche se nel PF può essere omesso laddove il contributo non sia importante (il packaging primario coincide con il prodotto oggetto di studio).

La disomogeneità dei confini del sistema dettati dai tre framework complica la gestione delle LCA da parte delle aziende destinatarie della richiesta. Se, da un lato, avere i risultati di un'analisi con confini più ampi permette di escludere, all'occorrenza, i processi non richiesti, dall'altro considerare confini più ristretti necessita di meno risorse (umane, economiche e di tempo) per svolgere l'LCA, ma non consente di essere pronti in caso di richieste differenti.

3.2 L'allocazione

In presenza di processi multifunzionali occorre adottare un metodo per attribuire i flussi ai co-prodotti. La SMGs prevede esclusivamente un'allocazione basata sulla massa, mentre PCR e PF indicano entrambe una gerarchia che definisce le priorità per la gestione di questi processi. In entrambi i framework l'allocazione deve essere evitata dividendo il processo in sottoprocessi più piccoli (così come definito nella ISO 14044 [3] che però indica anche l'espansione del sistema come alternativa a questa prima soluzione). Per la PCR, nel caso non fosse possibile la suddivisione dei processi, i dati di inventario devono essere ripartiti tra i diversi co-prodotti in modo da riflettere le relazioni fisiche sottostanti tra loro (es. la massa). Laddove neanche questo fosse praticabile bisogna procedere ad

un'allocazione tra i co-prodotti in modo da riflettere altre relazioni (es. economiche). Il PF, invece, come seconda azione in ordine di priorità prevede di far riferimento alla PCR o a standard specifici di settore. Qualora non esistessero, si deve procedere con l'espansione del sistema. Infine, come ultima alternativa, si dovrebbe calcolare il rapporto del valore economico dei co-prodotti e procedere, a seconda del risultato, con un'allocazione economica o sulla base di relazioni fisiche. Il PF e la PCR, riportando nella prima opzione ciò che prevede lo standard ISO [3], garantiscono la coerenza con lo stesso. D'altro canto, l'unica soluzione di gestione dei processi multifunzionali prevista dalla SMGs, ossia con un'allocazione basata sulla massa, fa sì che ci sia una maggiore omogeneità e coerenza dei dati dei diversi prodotti provenienti dalle diverse aziende fornitrici e una più facile risoluzione del problema di allocazione per l'analista. Anche in questo caso, adattare il criterio di allocazione a seconda della richiesta si traduce in un maggior dispendio di risorse. Inoltre, bisognerebbe scegliere l'opzione che consenta di ottenere i risultati più affidabili.

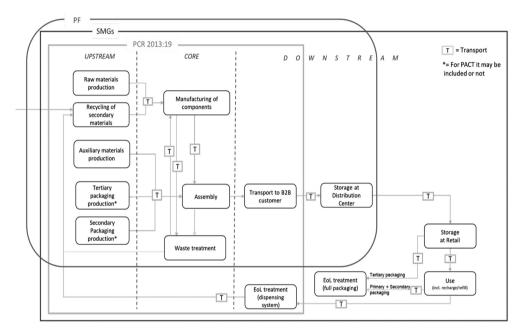


Fig. 1 – Confini del sistema richiesti dai 3 framework analizzati (PCR 2013:19, PF e SMGs) (elaborazione degli autori).

3.3 Il cut-off

Il cut-off consiste nella possibilità di escludere alcuni flussi dall'inventario secondo criteri relativi alla massa, all'energia o alla significatività ambientale [2]. Nella PCR, i dati esclusi dall'inventario non devono superare l'1% in termini di massa e di contenuto energetico. Inoltre, i dati considerati devono dar luogo ad almeno il 99% dei risultati di una qualsiasi delle categorie di impatto ambientale. Nel PF, invece, oltre al criterio dell'1% della massa riferito a ciascun flusso, richiede che il totale dei flussi esclusi debba rimanere al di sotto del 5%. La SMGs non menziona criteri di cut-off, lasciando quindi libera interpretazione in fase di analisi. Questo potrebbe tradursi in un vantaggio poiché riduce i vincoli imposti, ma non risponde al problema della soggettività. Inoltre, l'assenza di criteri lascia spazio a valutazioni dell'analista, che potrebbero influire sui risultati.

3.4 La CO, biogenica

L'aspetto del carbonio biogenico è rilevante per il settore packaging poiché non di rado i prodotti oggetto di analisi sono costituiti anche da materiale plastico originato da biomassa, come anche nel caso dei *dispensing systems*. Per il calcolo della CO₂ biogenica, il PF, essendo focalizzato sull'impronta di carbonio, è il framework più completo. Infatti, l'analisi deve ricomprendere la CO₂ biogenica relativa al "direct Land-Use Change", al "land-management-related changes", altre emissioni di GHG non comprese nei punti precedenti, prelievi, oltre al contenuto di carbonio biogenico del prodotto e l'"indirect Land Use Change". Il calcolo di queste voci deve seguire gli standard internazionali suggeriti nella guida.

Nella PCR la valutazione del "climate change" deve includere le emissioni e gli assorbimenti di GHG derivanti da fonti biogeniche e il "direct Land-Use Change" così come prescritto dalle regole generali dell'EPD System [11]. La SMGs, invece, non tratta questo aspetto. Occorrerebbe aggiornare in tal senso il documento poiché attualmente non riflette appieno la necessità di rendicontare la CO₂ biogenica in un settore interessato al tema come quello del packaging.

3.4 Altri aspetti metodologici

Escludendo il PF che è circoscritto alle sole emissioni di GHG, le categorie d'impatto previste nella PCR coincidono con quelle della SMGs, che però ne aggiunge ulteriori. Inoltre, i metodi di impact assessment per alcune delle categorie in comune tra i due framework sono differenti. Ciò implica che la valutazione degli impatti potenziali potrebbe portare a risultati differenti, rendendo necessario un ricalcolo.

Le fasi di normalizzazione e pesatura, facoltative secondo la ISO [2;3], non sono previste nel PF e non sono ammesse nelle PCR, mentre nella SMGs sono consentite solo a scopo decisionale per uso interno. Per questi motivi, questo aspetto sostanzialmente non influisce sui risultati.

L'analisi di sensibilità non è menzionata nella SMGs, mentre nel PF e nella PCR è consigliata per valutare gli effetti di eventuali cut-off nell'inventario. Inoltre, nella PCR, in caso di allocazione economica, dovrebbe essere svolta per valutare l'influenza del valore economico scelto.

Per il calcolo del fine vita del prodotto, esclusa la PF che non considera questa fase nei confini, la SMGs entra più nel dettaglio facilitando il compito dell'analista. Il metodo di contabilizzazione richiesto è la Circular Footprint Formula (CFF), come definito nella PEF 6.3 guidance [12]. La PCR include le attività di smaltimento e recupero e le operazioni di ricondizionamento necessarie per riportare un imballaggio riutilizzabile a uno stato funzionale per un ulteriore riutilizzo. Inoltre, l'allocazione del riciclo deve essere svolta con il metodo di "cut-off".

Per il trattamento dei rifiuti pre-consumo (es. scarti di produzione), sia nella PCR che nel PF la responsabilità ricade sul processo che li ha generati. Inoltre, per la contabilizzazione delle emissioni derivanti dal riciclaggio dei materiali e dall'incenerimento con recupero di energia, i tre documenti prevedono il ricorso al "cut-off method", ossia l'attribuzione dei carichi ambientali all'azienda che utilizza il materiale riciclato.

Infine, anche la valutazione della qualità dei dati è un aspetto definito nel PF e nella SMGs. Nel primo caso viene richiesto il calcolo di almeno un indicatore (entrambi a partire dal 2025) tra "quota di dati primari" (PDS) e "valutazione della qualità dei dati" (DQR) attraverso una matrice in cui valutare 5 criteri che corrispondono sostanzialmente a quelli richiesti dalla SMGs. La PCR non prevede la valutazione della qualità dei dati, se non relativamente alla quota di dati secondari utilizzabili per l'analisi. Nella Tabella 2 i tre documenti analizzati sono messi a confronto relativamente agli aspetti metodologici presi in considerazione.

	PCR 2013:19	PF	SMGs
CONFINI DEL SISTEMA	"From cradle to grave" (con esclusioni)	"From cradle to gate"	"From cradle to grave"
ALLOCAZIONE	I. Suddivisione in sotto-processi. II. Altrimenti, allocazione tra i coprodotti sulla base di relazioni fisiche. III. Altrimenti, allocazione sulla base di altre relazioni.	I. Suddivisione in sotto-processi. II. Altrimenti, seguire PCR o altri standard di settore. III. Altrimenti, espansione del sistema. IV. Altrimenti, ratio del valore economico dei coprodotti.	Basata sulla massa.
CUT-OFF	I dati inclusi devono dare luogo ad almeno il 99% dei risultati di una qualsiasi delle categorie di impatto ambientale. Inclusione del 99% della massa e del consumo energetico del ciclo di vita del prodotto.	Esclusione dei processi che rappresentano singolarmente max 1% del PCF totale e max 5% delle emissioni totali di PCF.	Non specificato.
EMISSIONI BIOGENICHE E RIMOZIONI	CC deve includere le emissioni e gli assorbimenti di GHG derivanti da fonti biogeniche e il "direct LUC".	Emissioni relative a direct e indirect LUC, al LM, altre emissioni di GHG, contenuto di carbonio.	Non specificato.
CATEGORIE D'IMPATTO e METODI LCIA	GWP100: CML 2001 baseline; AP; EP; ADP for minerals and metals (non-fossil resources): CML 2001 non-baseline; POCP: ReCiPe 2008; ADP for fossil resources; ODP: WMO 2014, WDP: Boulay et al. (2017).	GWP100: latest IPCC Assessment Report publication.	CC100: IPCC; ADP: CML 2002; ODP: Steady-state ODPs (WMO 1999); HT, FET: USEtox; PM: PM method da UNEP; IR: Human health effect model da Dreicer et al.1995; POF: ReCiPe 2008; AP, terrestrial EP: Accumulated Exceedance; Freshwater EP: ReCiPe; LU: Soil quality index in LANCA. WU: Available WAter REmaining (AWARE) da UNEP.
NORMALIZZAZIONE E PESATURA	Normalizzazione non permessa.	Non specificato.	Possibilità di utilizzo per processi decisionali interni.

Segue

	PCR 2013:19	PF	SMGs
ANALISI DI SENSIBILITÀ	Per valutare il cut-off e, in caso di allocazione economica, per valutare l'influenza del valore economico scelto.	Per valutare il cut-off.	Non specificato.
END OF LIFE	Trattamenti EoL compreso il trasporto. Metodo "cut-off" per l'allocazione del riciclo.	Non incluso.	Circular Footprint Formula.
RIFIUTI (scarti di lavorazione)	Metodo "cut-off" per l'allocazione del riciclo.	Metodo "cut-off" per l'allocazione del riciclo.	Non specificato.
QUALITÀ DEI DATI	Max 5% del peso del prodotto finale di dati secondari per il core process. Max 10% degli impatti ambientali associati ai dati proxy.	Quota di dati primari – PDS e valutazione della qualità dei dati – DQR.	Completezza; rappresentatività geografica, tecnologica e temporale; accuratezza/incertezza.

LEGENDA: ADP: Abiotic Depletion Potential; AP: Acidification Potential; CC: Climate Change; EoL: End of Life; EP: Eutrophication Potential; FET: Freshwater EcoToxicity; GHG: GreenHouse Gases GWP: Global Warming Potential; HT: Human Toxicity; IR: Ionising Radiation; LM: Land Management; LU: Land Use; LUC: Land Use Change; ODP: Ozone Depletion Potential; PCF: Product Carbon Footprint; PM: Particulate Matter; POCP: Photochemical ozone creation potential; POF: Photochemical ozone formation; WDP: Water deprivation potential; WU: Water Use.

Tab. 2 – Sintesi dei principali aspetti metodologici dei tre documenti analizzati.

4. Conclusioni e prospettive future

Le aziende del settore packaging devono far fronte ad una crescente richiesta da parte dei clienti (soprattutto B2B) di valutazione degli impatti ambientali lungo il ciclo di vita dei loro prodotti attraverso analisi LCA. Attualmente in questo settore si può far riferimento, oltre agli standard internazionali riconosciuti, a tre linee guida: le PCR (in questo studio, in particolare è stata analizzata la PCR for Dispensing Systems), il PF e la SMGs, che sono state comparate al fine di comprendere il loro potenziale contributo in termini di soggettività e armonizzazione delle analisi condotte e dei risultati ottenuti. Dall'analisi di sedici aspetti metodologici nei tre documenti emergono numerose differenze e qualche punto in comune. In particolare, i confini del sistema, la cui definizione è un aspetto fondamentale nelle analisi LCA, nei tre framework non sono sovrapponibili. Per questo, in caso di richiesta di un'analisi più ampia, l'azienda potrebbe aver bisogno di mettere in campo maggiori risorse per la raccolta dati e il calcolo. Inoltre, l'allocazione e i criteri di cut-off proposti sono diversi per tutti e tre i documenti. Ciò significa che avere a disposizione un'analisi già effettuata su un prodotto non assicura di rispondere correttamente alla richiesta del cliente. In definitiva sono due gli aspetti da evidenziare. Innanzitutto, l'azienda a monte della filiera, come quella del packaging, potrebbe ottimizzare le risorse necessarie (economiche, temporali e umane) sviluppando un sistema interno delle analisi LCA dei singoli prodotti in modo tale da adattare l'inventario a seconda dello standard o delle linee guida richieste e riformulare l'analisi con gli aspetti metodologici pertinenti. Inoltre, nonostante le linee guida provino a superare i problemi legati alla soggettività di alcune scelte di metodo, per alcune di esse, come ad esempio per il calcolo della CO. biogenica della SMGs, rimane un margine di discrezionalità dell'analista che potrebbe influenzare i risultati. Per questo motivo sarebbe opportuno migliorare i documenti definendo in maniera ancora più precisa gli aspetti sopra citati. Altri standard, framework e linee guida saranno oggetto di un'analisi più ampia per comprendere tutte le possibili richieste a cui un'azienda potrebbe dover rispondere. Inoltre, considerando anche gli aspetti di organizzazione delle analisi all'interno delle aziende, come fasi operative e definizione dei ruoli, e partendo da un caso studio di un'azienda del packaging, la ricerca futura sarà incentrata sulla definizione di un sistema di gestione interno che velocizzi e ottimizzi i processi di analisi LCA.

Bibliografia

- [1] Draucker, L., Kaufman, S., ter Kuile, R., & Meinrenken, C. (2011). Moving forward on product carbon footprint standards. Journal of Industrial Ecology, 15(2), 169-171;
- [2] **ISO 14040** (2006a). International Organization for Standardization. Environmental Management. Life Cycle Assessment Principles and Framework;
- [3] **ISO 14044** (2006b). International Organization for Standardization. Environmental Management. Environmental Management e Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines;
- [4] Subramanian, V., Ingwersen, W., Hensler, C., & Collie, H. (2012). Comparing product category rules from different programs: learned outcomes towards global alignment. The International Journal of Life Cycle Assessment, 17, 892-903;
- [5] **Gao, T., Liu, Q., & Wang, J.** (2014). A comparative study of carbon footprint and assessment standards. International Journal of Low-Carbon Technologies, 9(3), 237-243;
- [6] Schrijvers, D. L., Loubet, P., & Sonnemann, G. (2016). Critical review of guidelines against a systematic framework with regard to consistency on allocation procedures for recycling in LCA. The International Journal of Life Cycle Assessment, 21, 994-1008;
- [7] WSBCD World Business Council for Sustainable Development. Pathfinder Framework. Guidance for the Accounting and Exchange of Product Life Cycle Emissions. Version 2.0. 2023, www.wbcsd. org (last access July 2023);
- [8] SPICE Sustainable Packaging Initiative for Cosmetics. SPICE Methodological Guidelines. 2019, https://open-spice.com/ (last access July 2023);
- [9] **Product-Category Rules (PCR)** for preparing an environmental declaration (EPD) for Dispensing System, PCR 2013:19. Version 2.2.1. 2021-09-24. The Swedish Environmental Management Council;
- [10] **ISO 14025** (2006). International Organization for Standardization Environmental labels and declarations type III environmental declarations—principles and procedures;
- [11] The International EPD System. www.environdec.com (last access 01/08/2023);
- [12] **European Commission** (2017) PCR guidance document. Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PCRs), version 6.3.

Responsabilità Estesa del Produttore e Circolarità nel settore tessile: Stato dell'arte e prospettive

<u>Raffaella Taddeo r.taddeo@unich.it</u>, Veronica Casolani, Alberto Simboli – Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara, Dipartimento di Economia, viale Pindaro n.42, 65127, Pescara, Italia

Riassunto

L'Economia Circolare (EC) si è progressivamente affermata come paradigma di riferimento per la transizione verso sistemi socio-economici più sostenibili. Uno dei settori industriali su cui si sta maggiormente focalizzando l'attenzione è quello tessile, per il quale l'Unione Europea ha redatto nel 2022 la c.d. Strategia dell'Unione Europea per i Prodotti Tessili Sostenibili e Circolari. Tale decisione rende necessaria una completa revisione delle modalità di produzione e gestione del ciclo di vita, lungo tutta la filiera, verso una piena applicazione degli approcci e strumenti di eco-progettazione e assessment ambientale. Nel presente articolo si propone un'analisi storico-evolutiva dei più recenti provvedimenti normativi in tema di Responsabilità Estesa del Produttore e Circolarità nel settore tessile, evidenziando potenziali sinergie e criticità della loro prospettica applicazione.

Summary

Circular Economy (CE) has progressively established itself as a reference paradigm for the transition towards more sustainable socio-economic systems. Textile industry is one of the industrial industries on which attention is most focused. For this industry the European Union drafted the s. c. European Union Strategy for Sustainable and Circular textile products. This decision makes it necessary a complete review of the production methods and life cycle management, along the whole supply chain, towards a full implementation of eco-design and environmental assessment approaches and tools. This article proposes a historical-evolutionary analysis of the most recent regulatory provisions on Extended Producer Responsibility and Circularity in the textile industry, highlighting potential synergies and critical issues of their prospective application.

1. Introduzione

Il settore tessile comprende le attività manifatturiere dedite alla produzione e alla lavorazione delle fibre tessili, input dell'industria dell'abbigliamento e dei prodotti tessili, e materiali tecnici ad uso dei settori che si estendono dalla moda all'arredamento. Esso vanta una storia assai antica, avendo trainato la Prima Rivoluzione Industriale grazie alle principali innovazioni introdotte in quel periodo. L'industria tessile contribuisce oggi in maniera significativa all'economia nazionale di molti Paesi; in termini di produzione ed impiegati, è uno dei settori più grandi al mondo. In Europa l'industria tessile assorbe circa 1,3 milioni di addetti in 143.000 aziende, per un fatturato totale di € 147 mld. Il settore è basato principalmente su micro e piccole e medie imprese: l'88,8% è costituito da aziende da 0 a 9 dipendenti, l'11% da 10 a 249 dipendenti e solo lo 0,2% è costituito da grandi imprese con più di 250 dipendenti [1].

L'Europa è anche il secondo esportatore al mondo, negli ultimi anni le performance commerciali sono aumentate rendendo il settore tessile-abbigliamento il secondo settore per intensità di esportazioni dell'intera economia europea (Fig. 1a e 1b). La principale componente nella produzione complessiva dell'industria tessile, è la manifattura di abbigliamento e accessori, con una quota di produzione pari al 31%, seguono i prodotti tessili ad uso tecnico e industriale (17%), i tessuti (15%), i tessili per la casa (14%) [1]. La dipendenza dall'estero (import ed export) ha, tuttavia, reso la catena di approvvigionamento tessile una delle filiere più vulnerabili; la pandemia da Covid-19, inoltre, ha ridefinito le strategie di importazione di molti Paesi. Le imprese operanti nel settore tessile, infatti, sono tra quelle ad aver riscontrato (insieme alle imprese dell'elettronica e dell'automotive) maggiori problemi di approvvigionamento [2].

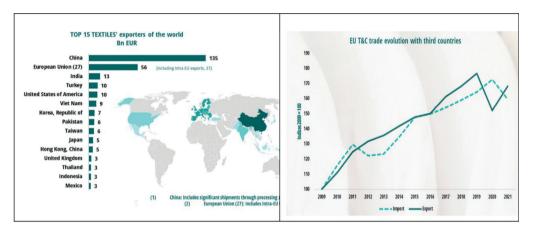


Fig. 1a e 1b [1]

In Italia, il settore tessile-abbigliamento, conta quasi 50.000 aziende, le quali occupano all'incirca 400.000 addetti, con un fatturato, nel 2020, di € 45 mld (nel 2019 il fatturato era di € 56 mld) e costituisce una componente fondamentale del tessuto economico e manifatturiero nazionale [3].

2. Caratteristiche tecnologico-produttive ed ambientali del settore tessile

Il settore tessile si articola in una serie di comparti che, nell'insieme, ne definiscono filiere molto ramificate e ormai globalizzate. I processi produttivi prendono il via a partire dalla produzione della fibra da utilizzare, che può essere di origine naturale (e.g. fibre animali, come lana e seta, oppure quelle vegetali, come cotone e lino) e/o artificiale (e.g. fibre sintetiche o semi-sintetiche come il nylon e il rayon). La lunga e complessa catena del valore prosegue con le seguenti fasi: i) produzione di tessuti e finissaggio (volte a conferire ai tessuti le proprietà visive, fisiche, funzionali ed estetiche); ii) trasformazione di tessuti in prodotti finiti attraverso processi di fabbricazione (abbigliamento, tessili per la casa o tessili tecnici), e infine iii) attività di vendita al dettaglio (Fig. 2).

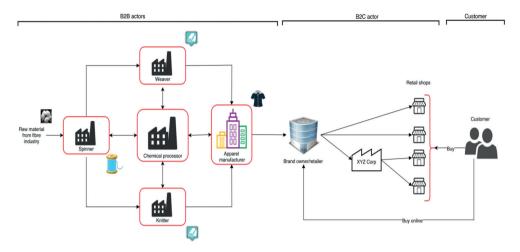


Fig. 2 - Textile Supply Chain Network [4]

La sostenibilità ambientale e sociale rappresenta, nel settore tessile, un aspetto critico. In un'ottica di ciclo di vita le principali problematiche della fase produttiva si evidenziano: i) nella fase di produzione delle fibre, dove vengono utilizzate diverse tecniche produttive con impiego massivo di risorse, acqua, energia e sostanze chimiche; ii) nell'uso del suolo per la coltivazione di fibre naturali (esempio emblematico è la coltivazione di cotone); iii) nella lavorazione dei tessuti, che genera una quantità significativa di rifiuti solidi ed acque reflue; iv) nell'utilizzo di energia, comune a tutte le fasi del ciclo di vita [5]. Come messo in evidenza nel Circular Economy Action Plan pubblicato nel 2020 dalla Commissione Europea [6], il tessile è il quarto settore per uso di materie prime ed acqua (dopo il settore alimentare, delle costruzioni e dei trasporti) e il quinto per emissioni di gas ad effetto serra. I principali input che utilizza sono soprattutto di natura non rinnovabile, come ad esempio il petrolio per produrre fibre sintetiche, i fertilizzanti per le coltivazioni di cotone, o i prodotti chimici per produrre, tingere e rifinire fibre e tessuti. La produzione tessile utilizza, inoltre, circa 93 miliardi di metri cubi di acqua all'anno, causando forti problemi nelle regioni in cui questa risorsa è carente. Nel 2018, l'industria della moda è stata responsabile di circa 2,1 miliardi di tonnellate di gas serra, equiparabili al 4% delle emissioni globali. Di queste, circa il 70% è associabile ad attività a monte, come la produzione e la lavorazione dei materiali. Nel 2020, il tessile è stato in media il quinto settore per uso di materia prima ed emissioni di CO₂ e il terzo per utilizzo dell'acqua e del suolo [7]. Alla fase di utilizzo da parte del consumatore, sono attribuibili il consumo di energia ed acqua relativi al lavaggio, asciugatura e stiro [5]. Gli impatti relativi alla fase d'uso sono ritenuti, inoltre, tra i responsabili del problema delle microplastiche rilasciate negli oceani, dovute, principalmente, agli indumenti costituiti da fibre sintetiche, come nylon, poliestere, acrilico, rilasciate durante i lavaggi [8]. Per quanto riguarda la fase del fine vita, il modello di filiera dei prodotti tessili è ad oggi, a livello globale, ancora prevalentemente lineare: secondo la Ellen MacArthur Foundation [9], solo il 13% dei capi che raggiungono il fine vita viene riciclato, di questo meno dell'1% di materiale viene riutilizzato per produrre altri capi d'abbigliamento [10]. Gran parte di essi (tra il 50 e il 75%) è destinata al riutilizzo, la quota maggiore del resto viene riciclata in prodotti di qualità inferiore (e.g. la produzione di materiale isolante nel settore delle costruzioni, o imbottitura per materassi), subendo di fatto una perdita di valore. I restanti due terzi di rifiuti tessili generati si presume che finiscano in flussi misti di rifiuti urbani per incenerimento o discarica [11]. Più di recente, la sostenibilità ambientale e sociale della filiera tessile è stata ulteriormente e fortemente minacciata dalla diffusione del fenomeno 'fast fashion', che ha radicalmente trasformato le dinamiche di produzione e di vendita. Si tratta di un approccio produttivo e distributivo basato sulla creazione rapida e disponibilità immediata di capi d'abbigliamento a costi minimi. Il basso prezzo di vendita è il risultato di scelte insostenibili e altamente impattanti, principalmente dovute all'impiego di manodopera nei Paesi in via di sviluppo, dove i diritti dei lavoratori sono spesso ignorati e non esistono normative ambientali efficaci [8].

3. Responsabilità Estesa del Produttore e Circolarità nel settore tessile

3.1 L'approccio normativo europeo

L'attenzione agli impatti derivanti dalla produzione e consumo di prodotti tessili sull'ambiente e sulla salute umana, ha rivestito, specie negli ultimi anni, un ruolo importante nella vasta normativa di riferimento. In via generale, si segnala il Regolamento UE n. 1007/2011 [12] riguardante l'etichettatura dei tessili e la trasparenza delle informazioni; il Regolamento CE n. 1907/2006 (più noto come Regolamento REACH) [13] che disciplina l'uso di sostanze chimiche; la Direttiva 2008/98/CE [14] riguardante i rifiuti e che, nello specifico, obbliga gli Stati membri ad adottare un sistema per la raccolta separata di rifiuti tessili entro il 2025. Tale Direttiva, modificata nel 2018 dalla Direttiva UE 2018/851 [15], ha visto, tra le maggiori novità. l'aggiunta dell'articolo 8 bis riguardante i requisiti generali minimi in materia di "Responsabilità Estesa del Produttore", principio fondamentale per garantire la riorganizzazione della filiera in una prospettiva "circolare" [1]. Il Green Deal Europeo, il Piano d'Azione per l'Economia Circolare e la Strategia industriale del 2020 hanno valutato, inoltre, l'elevato potenziale di circolarità del settore tessile [16], anche alla luce delle gravi ripercussioni della pandemia da Covid-19 sull'economia europea, e con lo strumento 'Next Generation EU' sono state individuate le risorse per una sua ripresa sostenibile. Sulla base di questi provvedimenti, il 30 maggio 2022 la Commissione Europea ha adottato la Strategia per i Prodotti Tessili Sostenibili e Circolari che fornisce un quadro di riferimento volto a rendere, entro il 2030, i prodotti tessili immessi nel mercato europeo "durevoli e riciclabili, in larga misura costituiti da fibre riciclate, privi di sostanze pericolose e prodotti nel rispetto dei diritti sociali e dell'ambiente..." [8]. Le misure specifiche comprendono: i) Introduzione di specifiche vincolanti di progettazione ecocompatibile; ii) Porre fine alla distruzione dei tessuti invenduti o resi; iii) Lotta contro l'inquinamento da microplastiche; iv) Introduzione di obblighi di informazione e di un passaporto digitale dei prodotti; v) Autodichiarazioni ambientali per prodotti tessili realmente sostenibili; vi) Responsabilità estesa del produttore e promozione del riutilizzo e del riciclaggio dei rifiuti tessili. Nonostante gli sforzi notevoli che l'UE e gli Stati membri stanno mettendo in campo, la produzione di rifiuti tessili tende ad aumentare [7]. A tal proposito, la Commissione Europea intende proporre una nuova direttiva che disciplini con maggior forza il fine vita dei prodotti tessili. La proposta ha l'obiettivo di eliminare gli ostacoli normativi e affrontare le carenze del mercato, rendendo le disposizioni più chiare, specifiche e armonizzate [17].

3.2 Il principio EPR e la sua attuazione in UE

Il principio della Responsabilità Estesa del Produttore o Extended Producer Responsibility (EPR) è stato introdotto per la prima volta nel 1990 [18] e descrive una strategia di protezione dell'ambiente atta a ridurre l'impatto ambientale di un prodotto, rendendo il produttore responsabile dell'intero ciclo di vita dello stesso, comprese le fasi c.d. di *take back*, ovvero ritiro, recupero e smaltimento finale. Il sistema EPR prevede che il "**Produttore**", attraverso un contributo economico, detto eco-contributo, si faccia carico dei propri prodotti dal momento in cui li immette sul mercato al momento in cui questi diventano rifiuti. Il Produttore

deve adempiere all'obbligo attraverso il finanziamento e l'organizzazione di un sistema di raccolta, recupero e riciclo dei rifiuti generati dal consumatore finale. La strategia alla base del principio EPR si realizza attraverso l'impiego di strumenti amministrativi, economici ed informativi; la loro attuazione sinergica ne determina l'efficacia. La Tabella 1 riassume lo stato di avanzamento dell'attuazione della EPR per il tessile in alcuni Stati europei.

	Italia	Francia	Germania	Svezia	Olanda
Normativa Nazionale	NO Bozza di decreto in fase di valutazione	SI Code de l'environnement	NO Position Paper	SI SOU 2020:72-Statuto in vigore dal 01/01/2022	SI Decreto 14/04/2023 132 - in vigore dal 01/07/2023
Sistema EPR operativo	NO	SI	NO	NO Sistemi di raccolta autorizzati a partire dal 01/01/2024	SI
Categorie tessili incluse	Abbigliamento, calzature, accessori, pelletteria e tessili per la casa (bozza decreto)	Abbigliamento, calzature, biancheria per la casa (esclusi arredo, protezione e decorazione)	-	Abbigliamento, accessori, prodotti per il tempo libero (sacchi a pelo)	Abbigliamento, prodotti per il tempo libero (coperte, vele e tende)

Tab. 1 – Stato di avanzamento dell'EPR in alcuni Stati europei

4. Criticità, prospettive future e conclusioni

Dall'analisi condotta, le due questioni normative di maggior rilievo in termini di transizione circolare del settore tessile sono legate:

- alla definizione del perimetro dell'EPR e all'individuazione del soggetto responsabile dell'immissione dei prodotti e della loro gestione. Ne è un esempio, l'estensione della responsabilità anche ai siti e-commerce, considerare cioè "produttore" anche i "merchant", ovvero i venditori che immettono un prodotto sul mercato per la prima volta;
- all'individuazione del soggetto a cui appartiene la materia prima seconda, ad oggi difficile da gestire, ma che già nei prossimi mesi potrebbe diventare un tesoro da sfruttare.

Sussistono poi criticità "strutturali" proprie del settore, quali:

- la scarsa sensibilità di alcune categorie di consumatori rispetto agli aspetti di sostenibilità dei prodotti (a cui il fenomeno del *fast fashion* sta continuando a contribuire);
- la mancanza/difficoltà di controlli sui prodotti importati da Paesi a basso costo (frammentazione della supply chain);
- l'elevato numero di certificazioni ambientali e sociali (elevata disomogeneità);
- il potenziamento della fase di cernita, dato che, secondo stime di settore, il 60% dei rifiuti tessili possono essere ancora riutilizzati.

La revisione della Direttiva UE 2018/85 prevede di istituire dei sistemi EPR obbligatori e armonizzati per tutti i Paesi UE, con tariffe che varieranno in base al livello di inquinamento causato. L'obiettivo è di finanziare, tramite i contributi versati, gli investimenti in sistemi di raccolta, cernita, riutilizzo e riciclaggio. Si punta anche ad incoraggiare le attività di ricerca e

lo sviluppo di tecnologie al fine di massimizzare la circolarità del settore, come il riciclo da fibra a fibra, oppure soluzioni in grado di contenere l'esportazione di rifiuti tessili camuffati da materiali riutilizzabili verso Paesi non attrezzati per una corretta gestione. A questo riguardo, diverse possono essere le possibilità di upeveling e downeveling, mentre per quanto riguarda la gestione del rifiuto, la fase di selezione riveste un ruolo fondamentale, in quanto i capi riutilizzabili devono essere correttamente separati dal flusso principale, elementi come zip e bottoni rimossi e i capi suddivisi a seconda del colore e/o del tipo di fibra. Gran parte dei processi di selezione avviene ancora per lo più manualmente, ma non mancano le novità sul piano della selezione automatica, con l'introduzione di macchine che operano tramite tecniche di spettrometria o intelligenza artificiale. Tra le tecnologie di riciclo, le più consolidate sono il riciclo meccanico e quello termo-meccanico; il riciclo chimico è in fase di sviluppo, mentre quello biologico, in cui si sfrutta l'azione degli enzimi, è in fase di studio [19]. Per stimare quale siano i potenziali impatti ambientali del sistema di gestione dei rifiuti, è importante tenere conto di valutazioni basate sul ciclo di vita, come quelle proposte attraverso l'impego della metodologia LCA – Life Cycle Assessment, Nella letteratura scientifica, la maggior parte degli studi LCA sui rifiuti tessili riporta il riutilizzo come metodo da privilegiare. Nello studio proposto da Sandin e Peters [20], in cui sono stati analizzati 41 studi LCA sull'argomento, è stato riscontrato che, tra le variabili principali che influenzano i risultati delle analisi sul ciclo di vita della gestione dei rifiuti tessili, si trovano il rendimento dei processi di riciclo, la modellizzazione della fase d'uso (numero di lavaggi e riutilizzi), la composizione dei rifiuti in ingresso e il coefficiente di sostituzione tra fibre riciclate e fibre vergini o tra un abito usato e uno nuovo. In conclusione, le sfide principali nella gestione circolare dei rifiuti tessili, ad oggi, sembrano legate all'individuazione esatta delle responsabilità, all'istituzione di piattaforme efficienti e alla capacità, degli attori più direttamente coinvolti, di gestire un mix di materiali eterogenei, mantenendo, in un'ottica di circolarità, più alta possibile la qualità delle fibre.

Bibliografia

- [1] **Euratex**, 2022. Facts & Key Figures of the European textile and clothing industry. https://euratex.eu/wp-content/uploads/EURATEX_FactsKey_Figures_2022rev-1.pdf (consultato il 23/05/2023)
- [2] Istat, 2022. Rapporto sulla competitività dei settori produttivi. Edizione 2022. ISBN 978-88-458-2075-5.
- [3] Sistema Moda Italia, 2021. Position Paper Verso un Regime EPR nel Settore Tessile.
- [4] **Kumar V., Hallqvist C., Ekwall D.**, 2017. Developing a Framework for Traceability Implementation in the Textile Supply Chain. Systems, 5, 33.
- [5] Moazzem S., Crossin E., Daver F., Wang L., 2022. Environmental impact of apparel supply chain and textile products. Environment, Development and Sustainability 24, 9757-9775.
- [6] Commissione Europea, 2020. Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare. Per un'Europa più pulita e più competitiva. COM(2020) 98 final.
- [7] **European Environment Agency**, 2022. Textiles and the environment: the role of design in Europe's circular economy. https://www.eea.europa.eu/publications/textiles-and-the-environment-the (consultato il 20/07/2023)
- [8] **Commissione Europea**, 2022. Strategia dell'UE per prodotti tessili sostenibili e circolari. COM(2022) 141 final.
- [9] Ellen MacArthur Foundation, 2017. A new textiles economy: Redesigning fashion's future. https://ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy (consultato il 01/06/2023)
- [10] **Circular Economy Lab**, 2022. Le problematiche del settore tessile, abbigliamento e moda. https://www.circulareconomylab.it/content/circularEconomy/it/news/textileandfashion1.html (consultato il 23/05/2023)
- [11] **Fondazione per lo sviluppo sostenibile**, 2022. Il riciclo in Italia. https://www.ricicloinitalia.it/wp-content/uploads/2022/12/Il-Riciclo-in-Italia-2022.pdf (consultato il 1/06/2023).

- [12] **Regolamento (UE) n. 1007/2011** del Parlamento Europeo e del Consiglio del 27 settembre 2011 relativo ai prodotti tessili e che abroga il regolamento (CE) n. 2382/2000. Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea (L) 2011, 272/1-54. Pubblicato il 18 ottobre 2011.
- [13] **Regolamento (CE) n. 1907/2006** del Parlamento Europeo e del Consiglio del 18 dicembre 2006 relativo alla registrazione, valutazione, autorizzazione e restrizione delle sostanze chimiche (REACH), che istituisce un'Agenzia europea delle sostanze chimiche, che modifica la direttiva 1999/45/CE e che abroga il regolamento (CEE) n. 793/93 del Consiglio e il regolamento (CE) n. 1488/94 della Commissione nonché la direttiva 76/769/CEE del Consiglio e le direttive 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE e 2000/21/CE della Commissione. Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea (L) 2006, 396/1-849. Pubblicato il 30 dicembre 2006.
- [14] **Direttiva 2008/98/CE** del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti e che abroga determinate direttive. Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea (L) 2008, 312/3-30. Pubblicata il 22 novembre 2008.
- [15] **Direttiva (UE) 2018/851** del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la Direttiva 2008/98/CE relativa ai rifiuti. Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea (L) 2018, 150/109-140. Pubblicata il 14 giugno 2018.
- [16] Bour A, Christensen T. B., Hunka A. D., Palmqvist A., Skjold E., Syberg K., 2023. Implications of circular textile policies for the future regulation of hazardous substances in textiles in the European Union. Science of The Total Environment, 896, 165153.
- [17] Commissione Europea, 2023. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2008/98/EC on waste. COM(2023) 420 final.
- [18] **Lindhqvist T., Lidgren K.**, 1990. Modeller för förlängt producentansvar. Models for Extended Producer Responsibility. In Ministry of the Environment, Från vaggan till graven sex studier av varors miljöpåverkan. From the Cradle to the Grave six studies of the environmental impact of products (Ds 1991:9).
- [19] **Commissione Europea**, 2021, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Duhoux, T., Maes, E., Hirschnitz-Garbers, M. et al., Study on the technical, regulatory, economic and environmental effectiveness of textile fibres recycling Final report, Publications Office. https://data.europa.eu/doi/10.2873/828412.
- [20] Sandin G. and Peters G. M., 2018. Environmental impact of textile reuse and recycling A review. <u>Journal of Cleaner Production</u>, 184, 20, 353-365.

Recupero e valorizzazione di materassi in poliuretano a fine vita

<u>Claudio Fresia, claudiofresia23@gmail.com</u>, Marco Bergonzoni, Luca Montermini, Università di Bologna, Servizi Italia S.p.A.

Riassunto

Seguendo i principi di economia circolare e simbiosi industriale, questo studio si propone di trovare soluzioni per il recupero e la valorizzazione di materassi in poliuretano a fine vita gestiti dall'azienda Servizi Italia S.p.A., con lo scopo di promuovere soluzioni sostenibili per il settore degli imbottiti. L'obiettivo della ricerca è quello di riciclare le parti in poliuretano dei materassi per riutilizzarle nella produzione di nuovi prodotti. Inizialmente, viene esaminato il settore dei materassi in poliuretano in Italia e approfondita la recuperabilità di questi ultimi. Identificati i settori merceologici e le aziende potenzialmente interessate per il riutilizzo, viene illustrato l'accordo che è stato concluso con la startup Re Mat per il riciclo dei prodotti, che vengono trasformati in nuovi eco-materassi tramite il processo di produzione dell'azienda. Infine, viene condotta un'analisi carbon footprint comparativa fra i due scenari per valutare i diversi impatti ambientali associati ai due cicli di vita dei prodotti.

Summary

Following the principles of the circular economy and industrial symbiosis, this study aims to find solutions for the recovery and valorization of end-of-life polyurethane mattresses managed by the company Servizi Italia S.p.A., with the goal of promoting sustainable solutions for the bedding sector. The research objective is to recycle the polyurethane components of the mattresses for reuse in the production of new products. Initially, the polyurethane mattress sector in Italy is examined, and its recoverability is explored. After identifying the potential industry sectors and companies interested in reuse, the agreement with the startup Re Mat for product recycling is illustrated, wherein the products are transformed into new eco-mattresses using the company's production process. Finally, a comparative carbon footprint analysis is conducted between the two scenarios to assess the different environmental impacts associated with the two product life cycles.

1. Introduzione

L'obiettivo di questo studio e dell'attività di ricerca è analizzare le migliori soluzioni per valorizzare i materassi a fine vita gestiti dall'azienda Servizi Italia S.p.A. sul territorio nazionale. Lo scopo è ottimizzare l'end of waste dei materassi, seguendo i principi del Green Deal, dell'Agenda 2030, dell'economia circolare e della simbiosi industriale, al fine di promuovere la sostenibilità ambientale lungo l'intera filiera.

I materiali che compongono i materassi, come il tessuto, le falde di imbottitura, il feltro, il poliuretano espanso, il lattice e le molle in acciaio, possono essere valorizzati e riutilizzati per la produzione di nuovi prodotti. Questo studio si concentra in particolare sulla gestione e sulla valorizzazione delle parti del materasso in poliuretano attraverso nuovi utilizzi.

È importante studiare sia gli aspetti di processo per il recupero degli elementi del materasso sia gli aspetti legislativi per la transizione da rifiuto a sottoprodotto, in conformità alle disposizioni del Testo Unico Ambientale Decreto Legislativo 152/2006.

Nel rapporto vengono identificati i settori merceologici potenziali per realizzare concretamente un'economia circolare, nonché le potenziali aziende interessate a progetti di simbiosi industriale nel territorio. Vengono forniti anche un quadro sugli aspetti e i principi della sostenibilità ambientale e la filosofia di base che guida questo progetto.

Successivamente, viene introdotta la start-up Re Mat, con la quale è stato concluso un accordo concreto, e viene spiegato il loro innovativo processo di recupero per il riciclo dei materassi oggetto dello studio.

Infine, viene condotta un'analisi comparativa del carbon footprint tra la situazione iniziale e il sistema finale dopo l'accordo tra le due aziende, al fine di valutare l'impatto ambientale complessivo del processo di recupero e riciclo dei materassi.

L'obiettivo finale di questo studio è fornire una panoramica completa delle migliori pratiche per il recupero dei materassi a fine vita, promuovendo l'adozione di soluzioni sostenibili e contribuendo alla transizione verso un'economia circolare nel settore dei materassi.

2. Relazione

2.1 Materassi in poliuretano e recuperabilità

Secondo i dati dell'ISTAT [1], nel 2021 in Italia sono stati prodotti circa cinque milioni di nuovi materassi, con oltre due milioni (pari al 44%) realizzati in poliuretano espanso. Ampliando l'analisi alla produzione e alle vendite di materassi in Italia nel periodo dal 2017 al 2021, emerge che la quota dei materassi in poliuretano ha mantenuto una costante presenza, variando tra il 44% e il 52% rispetto al totale della produzione nazionale. (Fig. 1)

Risulta evidente che quasi la metà dei materassi prodotti in Italia è realizzata in poliuretano espanso. Questi dati indicano una costante stabilità nella scelta del poliuretano come materiale preferito per la produzione dei materassi negli ultimi anni.

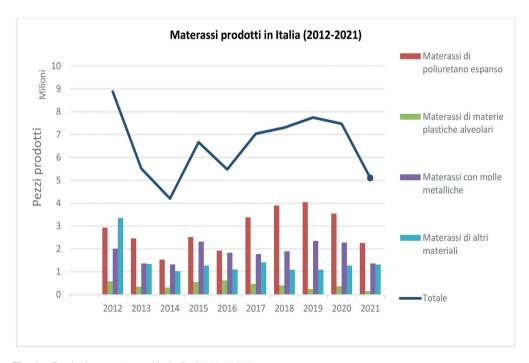


Fig. 1 – Produzione materassi in Italia (2012-2021)

L'attenzione passa ora sull'analisi della recuperabilità e del riciclo attuale del poliuretano, con l'obiettivo di individuare le criticità esistenti al fine di trasformarle in opportunità per migliorare il processo di smaltimento. Inizialmente, è importante sottolineare che il poliuretano è un materiale estremamente durevole, con una durata stimata di circa cinquant'anni. Questa caratteristica lo posiziona in una categoria più sostenibile rispetto ad altri polimeri derivati dall'industria petrolchimica. La lunga durata di un materasso in poliuretano significa che richiede meno frequenti sostituzioni e può essere utilizzato per un periodo più esteso, contribuendo così a ridurre la quantità complessiva di rifiuti generati nel corso del tempo.

Una delle principali criticità legate alla gestione di questo materiale è la sua complessità di riciclaggio. Il poliuretano è un materiale composito costituito da diverse sostanze chimiche e componenti che possono renderne difficile il trattamento e la separazione dei materiali durante il processo di riciclaggio. Ad esempio, i materassi in poliuretano possono contenere schiume, tessuti, metallo e altri materiali che devono essere separati prima di poter avviare il processo di recupero, rendendo più complesso il processo di riciclaggio.

A differenza di altri materiali più comunemente riciclati come la plastica o il vetro, il poliuretano richiede processi di riciclaggio più specializzati e costosi come il re-bonding [2], il metodo air-lay [3] o processi di riciclo chimico come la glicolisi [4]. A questo si aggiunge il problema dalla scarsa diffusione e disponibilità di infrastrutture e tecnologie di riciclaggio specifiche, che porta spesso a soluzioni di smaltimento non sostenibili come lo smaltimento in discarica.

Attualmente, uno dei principali metodi di smaltimento per i materassi in poliuretano è l'incenerimento con recupero di energia. Il poliuretano contiene una notevole quantità di energia per unità di peso, paragonabile a quella contenuta nel carbone, rendendolo un materiale adatto per essere bruciato nei termovalorizzatori per generare energia termica o elettrica. È importante sottolineare che l'incenerimento del poliuretano dovrebbe essere considerato come una soluzione temporanea di smaltimento. È essenziale promuovere attivamente il riciclo del poliuretano, poiché questa approccio consente di preservare le risorse e ridurre l'impatto ambientale complessivo.

2.2 Materassi di Servizi Italia S.p.A.

Servizi Italia svolge servizi di lavaggio, sanificazione e sterilizzazione di materassi e guanciali per conto di aziende attive nel settore ospedaliero. Tutti questi prodotti sono mono-componente e realizzati 100% in poliuretano, questa caratteristica conferisce un vantaggio significativo al processo di riciclo che verrà avviato al termine della loro vita utile.

Infatti, i materassi sono notevolmente più facili da separare e riciclare rispetto a quelli che contengono componenti misti o materiali aggiuntivi.

Grazie a questa composizione mono-componente e all'assenza di altri materiali complessi, il processo di riciclaggio dei materassi diventa più efficiente, comportando una riduzione dei costi monetari, energetici e ambientali associati.

Il modello "Hospital No Fire" utilizzato da Servizi Italia si configura come una soluzione completa e altamente sicura per gli ambienti ospedalieri. È disponibile in diverse varianti che differiscono per sagomatura, forma della superficie di appoggio e grado di traspirazione.

Le sue caratteristiche sono riportate nella schede tecnica: (Fig. 2 e 3)

SERIE HOSPITAL NO FIRE

dal Materasso omologato in CLASSE 1 IM (UNO I EMME) dal Ministero dell'Interno in ottemperanza a quanto previsto dal D.M. del 26.06.84).

PREVENZIONE INCENDI.

OMOLOGAZIONE Nº RE1535D20D1IM00002

LASTRA

- Materasso in poliuretano espanso densitá kg 30 al mc.
- Ad alta resilenza.
- Permeabile all'aria.
- Indeformabile.
- A cellula aperta per una migliore e salutare traspirazione.
- Prodotto senza l'impiego di CFC (Clorofluorocarburi).
- Conforme a quanto richiesto dalla normativa ATS. 1000.001 Airbus.
- Favorisce la corretta distribuzione del peso corporeo.
- Antibatterico e antimicotico.
- Adattabile a qualsiasi tipo di letto e disponibile in varie misure sia in un pezzo unico sia in piú sezioni.
- Lavabile in lavatrice con miscele calde disinfettanti e detergenti.

FODERA POLIESTERE ignifugo Classe 1

- Fodera di rivestimento in traliccio fasciato candido.
- Irrestringibile.
- Confezionata con apertura in testa o a L (lato corto piú lato lungo).
- Chiusura con robuste cerniere.
- Lavabile in acqua a 95°.

CARATTERISTICHE TESSUTO

Composizione 100% poliestere ingnifugo Classe 1

Colore bianco
Peso gr. 200 circa

Armatura fili: 35 in ordito e 20 in trama al cm

Fig. 2 - Scheda tecnica materasso "Hospital No Fire" di Servizi Italia

CARATTERISTI	CHE MERCEOL	OGICHE	
ANIMA IN POLIURETANO 30HR	The state of the s	William .	
Caratteristiche	Unità di misura	Valore	Norma di riferimento
DENSITA'	Kg/mc	30	UNI EN ISO 845
RESISTENZA ALLA COMPRESS. (O DUREZZA)	K Pa	3,2	UNI EN ISO 3386
RESISTENZA ALL'AFFONDAMENTO (o IDENTAZ.)			
al 25%	N	90	UNI 6353
al 40%	N	120	UNI 6353
al 65%	N	260	UNI 6353
SAG FACTOR	-	2,9	-
DEFORMAZIONE RESIDUA	%	≤4	UNI EN ISO 1856
RESISTENZA ALLA FATICA DINAMICA			
 variazione spessore 	%	≤1,8	UNI 6356
 variazione resist.compress. 	%	≤18	UNI 6356
RESISTENZA A TRAZIONE			
 carico di rottura 	K Pa	≥90	UNI 7032
 allungamento a rottura 	%	≥200	UNI 7032
RESA ELASTICA	%	≥55	UNI 6357
RIVESTIMENTO (FODERA)		Auto Alice	
Caratteristiche	Unità di	Valore	Norma di
	misura		riferimento
TESSUTO		Tralico	io fasciato candido
COMPOSIZIONE	-	pol	liestere ignifugo
TITOLO ORDITO	-		20
FILI AL CM	-		35
TTOLO TRAMA	-		16
ATTUTE AL CM	-	20	
PESO	g/mq		200
FOGGIA		TRE SPECI	FICHE
			NE AL FUOCO:
		i sensi DM 26.	

Fig. 3 - Complemento scheda tecnica modello "Hospital No Fire"

Ogni anno, vengono lavorate circa 1830 tonnellate di poliuretano nei due stabilimenti principali dell'azienda, considerando il peso del singolo materasso (10.5 kg), si stima il numero di materassi processati in un anno in circa 175mila unità. [5]

Una parte di questi materassi non possono essere riutilizzati poiché raggiungono il termine della loro vita utile. Ci sono diverse ragioni per cui ciò può accadere: alcuni materassi possono subire danni gravi che li rendono inutilizzabili per il processo di lavaggio, asciugatura e sanificazione. Un'altra ragione per cui i materassi arrivano alla fine della loro vita è legata ai cambiamenti nei contratti. Poiché i clienti di Servizi Italia operano principalmente nel settore ospedaliero, dove l'approvvigionamento di materassi è regolamentato da gare d'appalto, quando scade la concessione, i vecchi materassi devono essere sostituiti con nuovi prodotti conformi alle nuove specifiche. Ciò comporta che i materassi precedentemente utilizzati raggiungano la fine della loro vita utile e debbano essere eliminati.

	Materassi lavorati [t]	Materassi smaltiti [t]	% di smaltimento
Castellina (PR)	1428,3	76,5	5.4%
Bolzaneto (GE)	293,4	31,2	10,6%
Totale	1721.7	107.7	6.3%

Tab. 1 - Dati su quantità di materassi lavorate e smaltite nel 2021 da Servizi Italia

Solo nel 2021, sono state smaltite in discarica o in inceneritore più di 107 tonnellate di poliuretano, equivalenti a quasi 10200 unità, generando un significativo impatto ambientale ed economico per Servizi Italia. (Tab. 1) [6]

L'obiettivo di questo progetto è recuperare i materassi giunti a fine vita, trasformandoli da rifiuti, che rappresentano solo un onere ambientale ed economico, in risorse dalle quali è possibile estrarre nuovamente valore. Questo obiettivo sarà realizzato reimmettendo il poliuretano dei materassi a fine vita in nuovi cicli produttivi, riutilizzandolo come nuova materia prima per la produzione di altri prodotti.

2.3 La startup Re Mat e il processo di riciclo

In questo contesto, è stato stipulato un accordo di fornitura tra Servizi Italia e Re Mat, una startup specializzata nel recupero del poliuretano espanso da materassi giunti al termine della loro vita e da scarti di lavorazione. Questa azienda ha brevettato un processo di riciclo che consente la produzione di nuovi eco-materassi utilizzando proprio il poliuretano esausto come materia prima.

I materassi a fine vita di Servizi Italia, una volta arrivati nell'impianto di Re Mat, vengono prima sfoderati e sottoposti a una rigida sanificazione. Successivamente, vengono inseriti in due macchinari accoppiati chiamati granulatori, che li triturano fino a ottenere dei fiocchi di poliuretano. Con l'obiettivo di creare blocchi solidi e compatti, i granuli vengono mescolati con un collante biologico e pressati in grandi stampi, dove rimangono per alcuni giorni.

I blocchi vengono poi tagliati per ottenere delle lastre di poliuretano riciclato, che vengono incollate e accoppiate con altre lastre di poliuretano vergine (ottenute da scarti di lavorazione). Il prodotto risultante è chiamato "Eco-Foam" (Fig. 4) e offre prestazioni tecniche comparabili a quelle dei materassi tradizionali, garantendo comfort e durabilità.



Fig. 4 - Materasso Re Mat "Eco-Foam"

Servizi Italia, oltre a far gestire il fine vita dei materassi esausti a Re Mat, riacquista i nuovi materassi Eco-Foam completando così la chiusura del cerchio. Questa pratica riduce la dipendenza da materiali vergini e contribuisce in modo significativo alla riduzione dell'impatto ambientale associato alla produzione di nuovo poliuretano.

2.4 Carbon footprint comparativa

L'obiettivo di questo studio è quello di calcolare e confrontare le impronte di carbonio relative al ciclo di vita di un materasso, sia nella situazione iniziale caratterizzata da un'economia lineare, sia nello scenario successivo in cui si adotta un approccio circolare (Fig. 5). L'analisi considera l'impatto ambientale del materasso lungo tutto il suo ciclo di vita, dalla produzione delle materie prime fino al punto di consegna al cliente finale.

L'unità funzionale del sistema è un singolo materasso (10,5 kg di poliuretano) e nel sistema non vengono considerati gli impatti ambientali associati alle lavorazioni interne svolte da Servizi Italia.

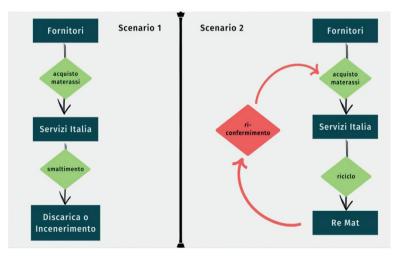


Fig. 5 - Schema dei due scenari a confronto

Grazie al software SimaPro, è stato possibile confrontare i cicli di vita del materasso nuovo e del materasso riciclato al fine di analizzare le emissioni allocate alle diverse categorie di impatto definite dal metodo di caratterizzazione e normalizzazione scelto: il CML Impact Assessment (Tab. 2 e Fig.6).

Impact category	Life Cycle Materasso riciclato	Life Cycle Materasso nuovo
Abiotic depletion	2,16E-14	2,47E-14
Abiotic depletion (fossil fuels)	1,01E-12	2,76E-12
Global warming (GWP100a)	4,67E-13	1,13E-12
Ozone layer depletion (ODP)	4,31E-15	1,33E-15
Human toxicity	2,82E-14	3,49E-14
Fresh water aquatic ecotox.	2,7E-14	4,93E-14
Marine aquatic ecotoxicity	1,78E-12	3,29E-12
Terrestrial ecotoxicity	3,03E-14	1,25E-13
Photochemical oxidation	5,42E-14	1,26E-12
Acidification	3,58E-13	8,56E-13
Eutrophication	1,5E-13	2,85E-13

Tab. 2 – Confronto fra impatti ambientali normalizzati in tonnellate di C02 equivalente

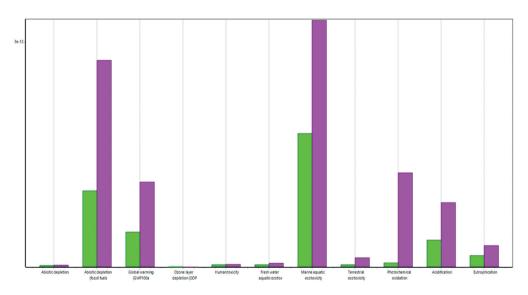


Fig. 6 – Istogramma degli impatti ambientali associati ai due cicli di vita

3. Conclusioni

La tabella seguente mostra come gli impatti ambientali espressi in kg di CO2 equivalente legati al ciclo di vita del materasso riciclato sono inferiori rispetto a quelli legati al ciclo di vita del materasso nuovo per quasi ogni categoria di impatto definita dal metodo CML-IA. Ciò conferma i vantaggi ambientali derivanti dall'adozione di un approccio di economia circolare (Tab. 3).

	Materasso riciclato	Materasso nuovo	differenza	Differenza [%]
Abiotic depletion	2.16E-14	2.47E-14	0.31E-14	-12.5%
Abiotic depletion (fossil fuels)	1.01E-12	2.76E-12	1.75E-12	-63.4%
Global warming	4.67E-13	1.13E-12	6.63E-13	-58.7%
Ozone layer depletion	4.31E-15	1.33E-15	-2.98E-15	+69%
Human toxicity	2.82E-14	3.49E-14	0.67E-14	-19.2%
Fresh water ecotoxicity	2.7E-14	4.93E-14	2.23E-14	-45.2%
Marine aquatic ecotoxicity	1.78E-12	3.29E-12	1.51E-12	-45.9%
Terrestrial ecotoxicity	3.03E-14	1.25E-13	9.47E-14	-75.8%
Photochemical oxidation	5.42E-14	1.26E-12	12.1E-13	-95.7%
Acidification	3.58E-13	8.56E-13	4.98E-13	-58.2%
Eutrophication	1.5E-13	2.85E-13	1.35E-13	-47.3%

Tab. 3 – Impatti ambientali dei due cicli di vita

L'esito positivo dello studio supporta l'importanza di promuovere l'economia circolare e l'accordo fra Servizi Italia e Re Mat rappresenta un esempio concreto di collaborazione tra diverse entità per promuovere la sostenibilità e l'efficienza nell'utilizzo delle risorse. Questo studio evidenzia i benefici ambientali derivanti dalla transizione verso un'economia circolare e fornisce un'importante base di conoscenza per guidare decisioni e azioni future nel campo della gestione dei rifiuti e del riciclo. Questo progetto dimostra che l'attivazione di programmi di simbiosi industriale porti benefici per tutte le aziende coinvolte. Infatti, lavorare insieme per creare un'economia circolare e sostenibile non solo contribuisce alla mitigazione dei cambiamenti climatici e alla salvaguardia dell'ambiente, ma anche allo sviluppo economico sostenibile e alla creazione di valore a lungo termine per tutte le parti coinvolte. La creazione di un ecosistema di aziende con valori e obiettivi comuni favorisce la condivisione di risorse, la riduzione degli sprechi e la promozione di sinergie, generando vantaggi sia dal punto di vista ambientale che economico.

Bibliografia

- [1] **ISTAT** (2015). Produzione industriale in quantità e valore: Materassi.
- [2] Zia, K. M., Bhatti, H. N., & Bhatti, I. A. (2007). Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling, and recovery: A review. *Reactive and functional polymers*, 67(8), 675-692.
- [3] Colonna, Martino, et al. (2023). "Mechanical Recycling of Foam from End-of-Life Mattresses by Air-Lay Method: Process Optimization for the Production of New Mattresses and Comparison with Rebonding Recycling Process."
- [4] **Borda, J., Pásztor, G., & Zsuga, M.** (2000). Glycolysis of polyurethane foams and elastomers. *Polymer Degradation and Stability*, 68(3), 419-422.
- [5 e 6] Servizi italia S.p.A (2021). Dati aziendali.

WaStudy: l'osservatorio italiano del mercato dei rifiuti speciali

<u>Alberto Marazzato alberto.marazzato@gruppomarazzato.com,</u> Gruppo Marazzato, Borgo Vercelli Francesca Bergonzoni, Cerved Group Spa, San Donato Milanese

Riassunto

Il progetto WaStudy si pone l'obiettivo di disporre un'analisi di mercato annuale relativa al settore della gestione dei rifiuti industriali, con una sezione dedicata alla rilevazione delle tariffe medie applicate dalle imprese specializzate per le principali attività di raccolta e gestione. È stato analizzato il mercato italiano e territoriale delle soluzioni ambientali per l'industria e sono state raccolte informazioni qualitative e quantitative relative alle caratteristiche dell'offerta, della domanda e l'indicazione dei prezzi medi applicati per la gestione dei rifiuti industriali. Lo studio dei prezzi medi di mercato è stato effettuato tramite intervista telefonica con questionario rivolto ai principali operatori del settore, specializzati nell'attività di gestione dei rifiuti industriali. Al termine del primo anno del progetto è stato creato un sito web dedicato che permette la consultazione dei risultati avviornati con cadenza annuale.

Summary

The WaStudy project aims to provide an annual market analysis about the industrial waste management industry, including a section about market's prices applied by specialized companies for collection, transport, treatment and disposal activities. The Italian market of environmental solutions for industry was analyzed regarding qualitative and quantitative information about offer, demand and average prices applied for industrial waste management. The market prices data have been collected through computer-assisted telephone interviews with a sample of the leading industry professionals, specialized in industrial waste management.

The analysis is available online and updated once a year to allow all clients, professionals and operators to understand the latest market dynamics.

1. Introduzione

Da diversi anni l'Italia sta affrontando una situazione di carenza di impianti di trattamento rifiuti che pone in seria difficoltà gli operatori del mercato dei servizi ambientali, che si trovano ad affrontare un'alta volatilità dei prezzi di gestione dei rifiuti e difficoltà nel reperimento delle soluzioni di recupero e smaltimento appropriate [1]. Una situazione che favorisce l'export dei rifiuti speciali, soprattutto quelli derivanti da impianti di trattamento dei rifiuti e delle acque reflue che costituiscono il 67% del totale delle esportazioni. Rispetto al 2019, nel 2020 i rifiuti speciali pericolosi esportati sono aumentati di circa 40.000 tonnellate (oltre il 3%). [2] Da questi presupposti è nato il progetto Wastudy con l'obiettivo, in attesa dell'intervento di operatori nazionali per l'ammodernamento e la realizzazione di nuovi impianti a sostegno dell'economia circolare e del settore, di creare uno strumento di condivisione tra industrie che favorisca la trasparenza sulle principali variabili di mercato e che al contempo sia di supporto ai produttori di rifiuti speciali per valutare e incontrare nuovi fornitori specializzati.

La ricerca è oggi arrivata al suo terzo anno, raddoppiando il numero di intervistati, ed è visitabile liberamente al sito https://osservatoriorifiuti.gruppomarazzato.com/[3]. Oltre 200 aziende del settore ambientale, principalmente appartenenti al codice Ateco 38 relativo alla raccolta, trattamento e smaltimento rifiuti, hanno risposto all'intervista telefonica effettuata da Cerved Group Spa che ha permesso di raccogliere e analizzare le principali caratteristiche dell'offerta di mercato dei servizi ambientali come le tipologie di rifiuti trattati, l'ambito territoriale, la R&S e i prezzi applicati.

2. Relazione

Il progetto Wastudy è iniziato con l'analisi morfologica delle aziende del settore ambientale, da cui è emerso che di circa 10.000 aziende del settore, appartenenti ai codici Ateco 37, 38 e 39 relativi alla gestione rifiuti, la metà possiede almeno una iscrizione ANGA (Albo Nazionale Gestori Ambientali) e circa 350 aziende possiedono almeno una certificazione SOA, attestazione obbligatoria per la partecipazione alle gare d'appalto degli enti pubblici.

Il progetto ha seguito le seguenti fasi:

- Analisi ex novo incrociando le informazioni sulle certificazioni ANGA e gli esiti delle analisi precedenti (edizione 2021 e 2022) da cui è emerso un universo di 5.297 aziende che soddisfano tutti i criteri stabiliti:
- Estrazione di una lista di circa 1.000 aziende con contatto telefonico che fossero più rappresentative del mercato in base alla zona, alla dimensione e all'attività dell'azienda;
- Somministrazione del questionario tramite interviste CATI (telefoniche), da cui è emerso un campione di 202 interviste complete;
- Ponderazione del campione per distribuzione regionale al fine di riportare il campione all'universo originale e consentire una lettura solida e statisticamente rappresentativa dell'universo delle aziende analizzate.

2.1 Il campione

L'universo preso in considerazione è costituito principalmente dalle imprese operanti nei settori della raccolta, trattamento, smaltimento rifiuti (Codice Ateco 38 – attività di raccolta, trattamento e smaltimento dei rifiuti; recupero dei materiali) e gestione reti fognarie (codice Ateco 37 – gestione delle reti fognarie). La classificazione Ateco è stata incrociata anche con le iscrizioni all'Albo Nazionale dei Gestori Ambientali più pertinenti. Sono così emerse 936 aziende, rispetto alle 606 nel 2022 e alle 482 nel 2021, riconducibili all'universo selezionato. Nella fase di contatto, da maggio a luglio 2023, hanno risposto il 26% degli intervistati, pari a 221 aziende (156 nel 2022 e 95 nel 2021), delle quali 202 sono risultate in target (112 nel 2022 e 69 nel 2021). [Tab.1]

	2021	2022	2023
Esito positivo al contatto	95	156	221
Imprese fuori target	34%	28%	9%
Imprese in target	66%	72%	91%

Tab. 1 - Campione coinvolto nelle indagini dal 2021 al 2023

2.2 Il profilo degli operatori

Gli operatori in target, che svolgono almeno una delle attività di intermediazione, stoccaggio, trattamento o smaltimento rifiuti speciali, spurghi civili e/o industriali o bonifiche ambientali, si occupano principalmente di **trasporto, intermediazione, stoccaggio e trattamento rifiuti speciali**.

Negli anni viene inoltre confermato il forte presidio territoriale: solo il 21% opera a livello nazionale, mentre la restante parte opera a livello regionale o provinciale. [Fig.1] Circa il 40% di aziende dichiarano di utilizzare solo impianti di trattamento e smaltimento di terzi, stessa quota di coloro che invece utilizzano sia impianti di terzi che propri, meno del 20% utilizza solo impianti di proprietà. [Fig.2]

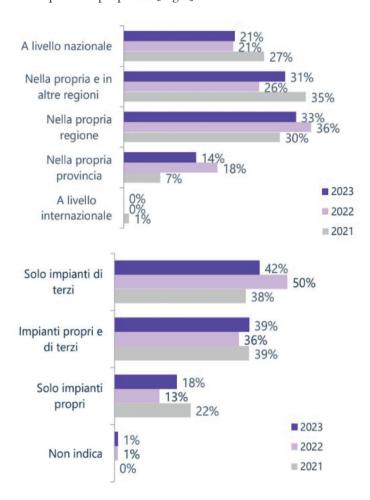


Fig. 1 – Ambito territoriale operativo

Fig. 2 – Impianti di smaltimento utilizzati

Gli investimenti in R&S, brevetti e collaborazioni riguardano ancora una ridottissima parte degli operatori in target. Solo il 7% delle aziende intervistate dispone di una divisione di R&S, mentre poco meno del 15% collabora con enti di ricerca esterni, principalmente nazionali. Il 65% non effettua nessun tipo di collaborazione o ricerca. Risultato simile anche per i brevetti per la gestione dei servizi ambientali per l'industria: oltre l'80% non possiede alcun brevetto. Rispetto alle 4 macrocategorie di rifiuti individuate (fanghi, rifiuti liquidi, rifiuti solidi e assimilabili), i rifiuti solidi sono la categoria maggiormente trattata, in aumento rispetto agli anni precedenti. Nel campione 2023 ci sono in proporzione meno aziende che trattano fanghi e liquidi. [Fig.3]

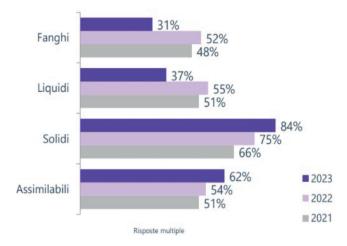


Fig. 3 - Specializzazione nella gestione dei rifiuti industriali

2.3 Classi di prezzo praticate per tipologia di rifiuti speciali

Relativamente ai prezzi medi applicati si è approfondita la situazione in termini di range di prezzo per tonnellata applicati all'industria che produce il rifiuto. Sono state esaminate 4 tipologie di rifiuto: fanghi, liquidi, solidi e assimilabili. Dai dati emerge che già nel 2021 in ogni macrocategoria sono i rifiuti pericolosi che richiedono un prezzo di smaltimento più alto, un dato coerente con le criticità di mercato rilevate in precedenza che si conferma anche nelle rilevazioni del 2022. [Tab.2] [Tab.3]

Nelle rilevazioni del 2023 possiamo attestare dei prezzi medi tendenzialmente in linea con gli anni precedenti. In aumento sostanziale invece i prezzi di smaltimento dei rifiuti assimilabili agli urbani per tutte le categorie: misti, carta, plastica, vetro e legno. [Tab.2] [Tab.3]

			2023	2022	2021
		TENDENZA VS 2022	PREZZO MEDIO (€/t)	PREZZO MEDIO (€/t)	PREZZO MEDIO (€/t)
	Fanghi da agricoltura	<	<75	75-90	75-90
	Fanghi non pericolosi da discarica	<	<180	180-200	<180
FANGHI	Fanghi non pericolosi da inertizzazione	=	<300	<300	<300
	Fanghi pericolosi da discarica	>	285-320	250-285	320-335
	Fanghi pericolosi da inertizzazione	<	275-310	345-380	310-380
					C

Segue

			2023	2022	2021
		TENDENZA VS 2022	PREZZO MEDIO (€/t)	PREZZO MEDIO (€/t)	PREZZO MEDIO (€/t)
	Percolati base da discarica	<	15-25	45-55	15-25
	Percolati compostaggio	<	40-55	85-100	<25
	Acque leggere	=	45-55	45-55	35-45
	Acque pesanti	>	110-130	90-110	70-130
	Acque con sedimenti	>	90-110	70-90	90-110
LIQUIDI	Emulsioni magre (fino a 5 percento di olio)	>	65-75	55-65	>55
	Emulsioni grasse (oltre 5 percento di olio)	=	105-120	105-120	75-145
	Acque da termodis. basso potere calorifico	<	320-360	400-440	320-360
	Acque da termodis. alto potere calorifico	<	280-320	360-400	260-290

Tab. 2 – Fasce di prezzo medio rilevate negli ultimi 3 anni per le categorie di fanghi e rifiuti liquidi. Evidenziate in rosso le categorie per le quali le classi di prezzo hanno carattere meramente descrittivo, in relazione alla dimensione contenuta della base campionaria

			2023	2022	2021
		TENDENZA VS 2022	PREZZO MEDIO (€/t)	PREZZO MEDIO (€/t)	PREZZO MEDIO (€/t)
	Solidi non pericolosi da	=	<450	<450	530-770
	Termovalorizzazione Solidi pericolosi da Termovalorizzazione	<	720-790	790-860	720-790
	Amianto compatto	=	260-280	260-280	240-260
SOLIDI	Amianto friabile	>	850-900	800-850	800-850
	Terre e macerie da recupero	=	10-25	10-25	10-25
	Terre e macerie inerti	=	15-30	15-30	15-30
	Terre e macerie discarica Non Pericolosi	=	120-150	120-150	<120
	Terre e macerie discarica Pericolosi	<	180-210	210-240	150-180
	Misti	>	220-240	200-220	<200
A COTA ET	Carta	>	20-30	10-20	10-20
ASSIMI- LABILI	Plastica	>	50-75	25-50	50-75
LIXDILI	Vetro	>	50-75	25-50	25-50
	Legno	>	70-80	60-70	60-70

Tab. 3 – Fasce di prezzo medio rilevate negli ultimi 3 anni per le categorie di rifiuti solidi e assimilabili In rosso le categorie per le quali le classi di prezzo hanno carattere meramente descrittivo, in relazione alla dimensione contenuta della base campionaria

A differenza delle precedenti rilevazioni, nel 2023 diminuiscono sensibilmente le previsioni di variazione dei prezzi medi dei successivi 6 mesi. Solo il 32% delle imprese intervistate prevede variazioni nel breve periodo, mentre nel 2022 era oltre il 70%. [Fig.4]

Le variazioni previste sono relative ai rifiuti assimilabili agli urbani e ai rifiuti solidi da termovalorizzazione.



Fig. 4 - Imprese intervistate che prevedono variazioni dei prezzi applicati nei successivi sei mesi

3. Conclusioni

L'analisi Wastudy, ripetuta annualmente dal 2021 al 2023, ha permesso di analizzare nel dettaglio gli aspetti più critici del mercato dei servizi ambientali e in particolare della gestione dei rifiuti speciali. La fruizione libera (previa registrazione sul sito web) e gratuita e le modalità di interazione digitale, lo rendono uno strumento a disposizione dell'industria nel suo complesso per garantire la trasparenza al cliente finale e la collaborazione tra imprese del settore. Le continue migliorie nella selezione del campione e nella condivisione del report hanno permesso di ottenere nell'edizione 2023 risultati statisticamente rilevanti coinvolgendo un numero sempre maggiore di aziende. [3]

Il portale offre un database di imprese operanti nel settore filtrabile e ordinabile per ricavi, area geografica, dimensioni e classi SOA e ANGA. Una mappa permette di selezionare singole province per visualizzare le imprese operanti, mentre i grafici dinamici illustrano le suddivisioni per settori di attività, per ambiti territoriali e per le attività di R&S. Infine, i prezzi sono stati rappresentati in grafici a radar che permettono di visualizzare il confronto delle previsioni di variazione dei prezzi rispetto agli anni precedenti. [3]

A oggi oltre 5000 utenti hanno visitato l'osservatorio online e circa 130 si sono registrati al portale. La registrazione al portale consente di sbloccare alcuni dati e visualizzare nel dettaglio il prezzo medio applicato alla singola categoria di rifiuto, e consente inoltre di inserire commenti e partecipare alle discussioni favorendo così le occasioni di contatto con gli altri operatori di settore. [3]

Bibliografia

- [1] AssoAmbiente, REF Ricerche, L'Italia che Ricicla 2022
- [2] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Rapporto Rifiuti Speciali Edizione 2022;
- [3] Gruppo Marazzato, Cerved Group Spa, Analisi dell'offerta di servizi ambientali per l'industria Wastudy, edizioni 2021-2022-2023

CIRCULAR AND REGENERATIVE BIOECONOMY

BIOWASTE: XXV CONFERENZA SUL COMPOSTAGGIO E DIGESTIONE ANAEROBICA. SESSIONE TECNICA

In questa sessione sono racchiusi contributi sul riciclo del rifiuto organico e la produzione di diversi tipi di fertilizzanti organici (ammendanti e concimi), utili al mantenimento della fertilità organica del suolo, e di composti impiegabili in svariate applicazioni industriali.

A cura di: Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo & CIC

Presidenti di sessione:

Massimo Centemero, CIC Alberto Confalonieri, Comitato Tecnico CIC

Il progetto "ABRIOPACK": Effetto del compost ottenuto aggiungendo imballaggi in plastica compostabile ai rifiuti organici sulla salute del grano e sul microbioma della rizosfera

Antonietta La Terza antonietta.laterza@unicam.it, Martina Coletta, Aldo D'Alessandro, Gianni Sagratini – Università degli Studi di Camerino, 62032 Camerino (MC), Italia

Riassunto

Le plastiche compostabili (PC) possono essere dirette alla produzione di compost assieme ai rifiuti organici urbani (FORSU). Tuttavia, il potenziale effetto della presenza di PC nel compost, sulla salute del suolo e delle colture, è ancora da valutare. Lo scopo dello studio, parte del progetto ABRIOPACK, è stato analizzare l'effetto dell'uso di compost da FORSU compostato assieme a un 3% di PC (CV) sul grano e sul microbioma rizosferico ad esso associato, e confrontarlo con compost "standard" (C). In un esperimento condotto in pieno campo, sono stati effettuati 3 trattamenti (C, CV e B-no compost) e sono stati analizzati: tratti morfologici e produttivi del grano e comunità batteriche e fungine della rizosfera (16S e ITS rRNA gene metabarcoding). L'aggiunta di compost ha modificato le comunità rizosferiche rispetto al controllo (B). Le comunità in C e CV sono risultate simili. La presenza di PC non ha prodotto effetti negativi sulla salute del suolo e della coltura, né sulla qualità del compost.

Summary

Compostable Plastics (CPs)can be composted together with urban organic waste (UOW) and directed to compost production. The impacts of CPs presence in compost on soil ecosystems and crop health, still needs to be assessed. The aim of the study, part of the ABRIOPACK project, is toevaluate the effects produced by "standard" compost (C) obtained from UOW and UOW composted together with 3 % of CPs (CV) on wheat health and rhizosphere microbiome. Three treatments (C, CV, and B – no compost), were tested in a field experiment. Wheat morphological and productive traits were measured, and rhizospheric bacterial and fungal communities were analysed by 16S and ITS rRNA metabarcoding. Compost fertilization significantly changed the rhizospheric community compared to control (B). C and CV communities resulted similar; CPs addition didn't affect compost quality, crop, and microbiome health.

1. Introduzione

Secondo i principi della *circular bioeconomy* e dello *zero waste*, le plastiche compostabili (bioplastiche) rappresentano un'ottima soluzione per soddisfare la crescente domanda di imballaggi innovativi e sostenibili e ridurre l'uso delle plastiche *petroleum-based*. Difatti, le plastiche compostabili hanno il potenziale per essere compostate insieme alla Frazione Organica del

Rifiuto Solido Urbano (FORSU) ed essere indirizzate alla produzione di compost, da utilizzare come fertilizzante in agricoltura, riducendo la necessità di fertilizzanti minerali. Tuttavia, il potenziale impatto dovuto alla presenza di plastiche, seppur compostabili, nel compost sugli ecosistemi del suolo e sulla salute delle colture è ancora da valutare. L'obiettivo del progetto "ABRIOPACK – Il Biopackaging in una filiera avicola industriale a basso impatto ambientale nel rispetto dell'economia circolare" (Sottomisura 16.1 PSR Marche 2014/2020 https://www. arca.bio/en/abriopack/) è stato quello di sviluppare un innovativo packaging alimentare, volto alla conservazione delle carni bianche biologiche e antibiotic free, completamente biodegradabile e compostabile (vaschetta, pellicola ed etichetta), smaltibile come rifiuto organico. Nell'arco di quattro anni, dal 2019 al 2023, imprese agricole (Carni Società Cooperativa Agricola appartenente al gruppo Fileni), enti di ricerca[Istituto Zooprofilattico Sperimentale dell'Umbria e delle Marche, Università di Camerino (UNICAM)], partner industriali (NOVAMONT SpA), società di consulenza [COSMARI,Consorzio Italiano Compostatori (CIC) e il Centro Ricerche e Sperimentazione per il Miglioramento Vegetale "N. Strampelli" (CERMIS)] e la società ARCA Srl Benefit per la divulgazione dei risultati hanno collaborato a tale scopo (https://www. arca,bio/wp-content/uploads/2023/03/abriopack-web2.pdf). In particolare, l'azienda NOVA-MONT SpA și è occupata della produzione delle plastiche compostabili in Mater-bi utilizzate nello studio, mentre il CIC si è occupato dello sviluppo del processo di compostaggio, avvenuto presso il COSMARI di Tolentino (Marche, Italia). L'ultima fase del progetto, realizzata a cura di UNICAM e di seguito descritta, ha riguardato l'allestimento di prove di campo, presso il CERMIS, volte a valutare eventuali effetti (positivi o negativi) prodotti dall'impiego dei compost standard (C) e compost ottenuto addizionando imballaggi in plastica compostabile alla FORSU (CV) sulla salute della coltura test, rappresentata da frumento tenero (Triticum aestivum L., varietà Solehio) e del microbioma radicale ad essa associata. In particolare, la sperimentazione è stata condotta per valutare eventuali differenze di "prestazione" in termine di rese e/o effetti sulla salute della pianta e sul microbioma, tra il compost standard (C) e il compost ottenuto addizionando il 3% di imballaggi in bioplastica compostabile alla FORSU (CV). Per la realizzazione dello studio sono stati usati vari indicatori [morfologici, produttivi e microbici (geni 16S e ITS rRNA)]. L'analisi degli indicatori microbici (batteri e funghi) ha incluso lo studio delle abbondanze e l'analisi funzionale, in modo da poter identificare, eventuali gruppi indicatori dei diversi trattamenti ed i loro ruoli funzionali nel suolo. A questo riguardo, studi recenti [1] hanno dimostrato che anche una singola applicazione di sostanza organica di qualità (compost), è in grado di determinare cambiamenti a livello della struttura delle comunità microbiche del suolo (es., abbondanze, diversità, metabolismi), in particolare per quelle associate alle radici. La comunità microbica costituisce, pertanto, un ottimo e sensibile indicatore per rilevare differenze nei regimi di fertilizzazione.

2. Relazione

2.1 Allestimento delle prove di campo

Le prove di campo sono state svolte presso i campi sperimentali del CERMIS di Tolentino. La distribuzione dei compost è avvenuta, previa aratura e affinamento del terreno. L'interramento dei compost è avvenuto, tramite erpice a dischi, il giorno successivo alla sua distribuzione. La sperimentazione ha avuto la durata di una singola annata agraria; la semina è avvenuta a metà novembre 2021, la raccolta è avvenuta a luglio 2022. Il disegno sperimentale ha previsto la suddivisione del campo, caratterizzato da una lieve pendenza (circa 6%), in tre *plot* (500m²), suddivisi a loro volta in cinque *subplot* (100m²), numerati in ordine crescente da 1 a 5, a partire dalla posizione 1 in corrispondenza dell'area pianeggiante verso la posizione 5 collocata nella porzione più elevata del campo. La Figura 1a riporta lo schema dei trattamenti

effettuati in campo e la disposizione dei *subplot*: compost standard (C), nessun tipo di compost (controllo, B) e compost ottenuto addizionando il 3% di plastiche compostabile ai rifiuti organici (CV). Per ogni trattamento (C e CV) sono stati impiegati 1000 kg dicompost, che sono stati distribuiti uniformemente nell'area centraledi ogni *plot*.

2.1.1 Rilievi agronomici e analisi chimico-fisiche del suolo

I rilievi effettuati sono stati di tipo agronomico, merceologico e qualitativo (parametri morfologici e produttivi) (Tab.1), sono stati condotti durante l'intero ciclo colturale e sul prodotto raccolto. Le analisi per la caratterizzazione chimico-fisica del suolo e per la ricerca dei metalli pesanti sono state condotte prima e dopo la distribuzione dei compost, con la finalità di valutare sia i livelli di nutrienti che l'eventuale presenza di inquinanti. In ogni *subplot* sono stati raccolti cinque campioni di suolo con l'impiego di una trivella pedologica, i quali sono stati poi accuratamente miscelati a formare un singolo campione composito. I parametri analizzati sono stati i seguenti: pH, tessitura a tre frazioni (sabbia, limo, argilla), calcare attivo e totale, Fosforo assimilabile (P), Potassio scambiabile (K), Carbonio organico totale (TOC), Azoto(N) totale, rapporto Carbonio/Azoto (C/N), sostanza organica (SO) e metalli (Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Mn, Mg).

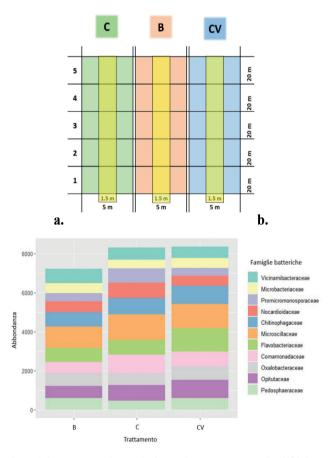


Fig. 1 a. – Organizzazione del campo sperimentale. In verde: compost standard(C); in rosa: controllo (B, no compost); in blu: compost ottenuto addizionando il 3% di imballaggi in plastica compostabile ai rifiuti organici (CV); in giallo: area centrale dei plot con ampiezza 1.5m.

Fig. 1 b. Istogramma delle famiglie batteriche più abbondanti suddivise per trattamento (B, C, CV).

2.1.2 Campionamento delle piante di frumento e del suolo rizosferico ad esse associato La raccolta delle piantine di frumento è stata effettuata nella fase di spigatura-fioritura. Al centro di ogni subplot sono state raccolte 10 piantine di frumento, comprensive di apparato radicale (per un totale di 150 piante). Una volta raccolte le piante sono state inserite in buste di plastica sterili e immediatamente trasferite in un contenitore refrigerato. In laboratorio, il suolo in eccesso è stato rimosso dalle radici, mentre il suolo rizosferico è stato raschiato dalle radici e immediatamente trasferito a – 80 °C per le successive analisi (estrazione del DNA e sequenziamento). Inoltre, per ciascuna pianta raccolta sono stati misurati diversi tratti morfologici e produttivi, come indicato in Tabella 1.

Parametri morfologici e produttivi						
Altezza pianta (cm) Fittezza (emergenza e fine inverno) Peso fresco (g) % Proteine su sostanza Zeleny						
Numero di nodi e di culmi	Danni da freddo	Peso secco (g)	% Glutine secco e umido	W		
Lunghezza spiga con e senza reste	Allettamento (spigatura e maturazione)	Perdità in umidità	% Umidità granella			
Lunghezza foglia bandiera (cm)	Malattie pianta e spiga	Produzione di granella (t/ha)	Peso elettrolitico (kg/hl)			
Contenuto clorofilla	Copertura del terreno	Peso di 1000 semi (g)	Durezza			

Tab. 1 – Tabella dei parametri produttivi e morfologici.

2.1.3 Analisi di DNA metabarcoding

L'analisi della comunità batterica e fungina della rizosferaè stata condotta mediantesequenziamento dei geni 16S e ITS rRNA (DNA *metabarcoding*). L'amplificazione delle regioni V3-V4 del gene 16S è stata effettuata usando i *primer* Pro341F (CCTACGGGNBGCASCAG) e Pro805R (GACTACNVGGGTATCTAATCC) [2], mentre per l'amplificazione della regione ITS2 sono stati impiegati i *primer* ITS3_KYO2 (GATGAAGAAC-2) GYAGYRAA) [3] e ITS4 (TCCTCCGCTTATTGATATGC) [4]. Gli ampliconi sono stati sequenziati utilizzando la piattaforma Illumina MiSeq con formato *Paired-End* (2x300bp).

2.1.4 Analisi statistica

Per l'analisi dei caratteri morfologici e produttivi, i dati sono stati confrontati sia attraverso raggruppamenti per trattamento (C, CV, B) che per posizione all'interno dei plot sperimentali (1,2,3,4,5) applicando i test statistici One-way Anova o Kruskal Wallis, a seconda della distribuzione. Le differenze all'interno dei gruppi sono state ulteriormente valutate attraverso Tukey Honestly Significant Difference (TukeyHSD) o Dunn test. Inoltre, sono state applicate tecniche di ordinamento quali non-metric Multidimensional scaling (nMDS) basato sull'indice di dissimilarità di Bray-Curtis. La Permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA) è stata utilizzata per testare la significatività delle differenze tra i raggruppamenti. Le analisi statistiche sono state condotte utilizzando il programma statistico R. L'analisi dei dati molecolari (geni 16S e ITS rRNA) per la caratterizzazione delle comunità batteriche e fungine della rizosfera, è stata realizzata mediante il pacchetto informatico Qiime2. Le sequenze sono state pulite usando DADA2, e i file prodotti sono stati analizzati attraverso i pacchetti phyloseq, microeco e vegan di R. La comunità è stata analizzata (a livello di famiglia) attraverso analisi tassonomica, indicator species analysis e analisi di network. Per quest'ultima il software Cytoscape è stato utilizzato per rappresentare graficamente i risultati ottenuti attraverso il software MetaMis. Inoltre, sono state condotte analisi dei metabolismi batterici attraverso FAPROTAX, e un'analisi funzionale delle comunità fungine attraverso FUNGuild.

2.2 Risultati

2.2.1 Rilievi agronomici e analisi chimico-fisiche del suolo

L'emergenza del frumento è stata rapida ed uniforme, ma la carenza di precipitazioni e il freddo registrato all'inizio del 2022 ne hanno ritardato lo sviluppo. La spigatura è stata scalare, la parte bassa è risultata vigorosa e precoce, mentre la parte apicale tardiva e meno vigorosa. Le analisi chimico-fisiche hanno evidenziato un terreno argilloso, leggermente alcalino. Non sono state rilevate differenze significative pre e post-distribuzione dei compost per i parametri chimico-fisici, né per la presenza di metalli pesanti nel suolo. Tuttavia, è da segnalare, e solo nei *plot* trattati con i compost (C e CV), un leggero incremento dicalcare totale, SO, TOC, N totale e una riduzione del K nel controllo (B). Mentre considerando la posizione; i maggiori valori per tali parametri sono stati registrati in posizione 1 (in basso), e i minori in posizione 5 (in alto). La distribuzione dei *plot* sperimentali lungo il pendio ha fattosì che l'umidità si concentrasse in maniera maggiore nelle posizioni più basse (1 e 2) e che si riducesse salendo lungo la pendenza.

2.2.2 Analisi dei parametri produttivi e morfologici del frumento

I dati di produttività e di morfologia non hanno rilevato differenze significative nel confronto tra trattamenti (B, C, CV), ma hanno rilevato differenze significative nel confronto per posizione (1,2,3,4,5). In tutte le tesi (B, C e CV), si rilevano differenze significative tra le posizioni esterne (1 e 5) e una condizione di maggiore uniformità per le posizioni centrali (2,3,4). In tutte le tesi, e specialmente nel controllo (B), le posizioni 5 risultano meno sviluppate rispetto alle altre posizioni. L'analisi dei parametri morfologici e produttivi conferma, quindi, le osservazioni del ciclo colturale; la posizione più elevata (5) è risultata generalmente meno sviluppata e produttiva rispetto alle altre posizioni, e particolarmente rispetto alla posizione più bassa lungo il pendio (1). In sintesi, l'analisi statistica dei parametri "classici" finora descritti, ha rilevato differenze significative unicamente nel confronto per posizione, ma non per trattamento.

2.2.3 Analisi della comunità batterica e fungina del suolo rizosferico

Lo studio delle comunità batteriche e fungine è stato realizzato mediante analisi di DNA metabarconding. In particolare, sono state effettuate: analisi della composizione tassonomica, indicator species analysis e network analysis della comunità batterica e fungina. Inoltre, sono state anche effettuate: analisi dei metabolismi batterici e analisi funzionale della comunità fungina. Per quest'ultima, i taxa fungini individuati sono stati suddivisi per gruppo funzionale (simbionti, saprofiti e patogeni) e per ogni gruppo è stata calcolata l'abbondanza relativa. I risultati ottenuti sono di seguito discussi.

2.2.3.1 Composizione tassonomica

L'analisi della composizione tassonomica dei batteri (condotta considerando le famiglie più abbondanti) non ha mostrato differenze significative nel confronto per trattamento (C, CV o B), né per posizione (1,2,3,4,5). Ad ogni modo, rispetto al controllo (B) l'impiego di compost, indipendentemente dal tipo (C o CV), ha mostrato un effetto positivo, seppur non significativo, sulle abbondanze delle seguenti famiglie: *Comamonadaceae, Microscillaceae* e *Opitutaceae* che hanno ruoli nei cicli di S, N e C. Unicamente in CV, si registra una maggior abbondanza di *Flavobacteriaceae*, con un ruolo importante nella decomposizione della sostanza organica, rispetto agli altri trattamenti (Fig. 1b). Le posizioni più basse (1 e 2), indipendentemente dal trattamento, hanno mostrato una composizione simile, caratterizzata da una maggiore abbondanza per le famiglie *Microscillaceae* e *Comamonadaceae* rispetto alle posizioni 3, 4 e 5. Le

Opitutaceae e le Pedosphaeraceae si riducono dalla posizione 1 alla 5, mentre le Promicromonosporaceae aumentano in posizione 5. In riferimento alle famiglie fungine, le Cladosporaceae
hanno mostrato una tendenza posizione-dipendente diminuendo dalla posizione inferiore (1)
alla posizione superiore (5). Le Helotiaceae incrementano dalla posizione 1 alla 4, e si riducono in posizione 5. In tale posizione (5) anche la famiglia Psathyrellaceae ha mostrato un
decremento. Di contro, le Cantharellales aumentano dalla posizione 5 alla 1 e diminuiscono
nei plot trattati con il compost.

2.2.3.2 Analisidei metabolismi batterici e analisi funzionale dei funghi

L'analisi dei metabolismi batterici ha rilevato che i metabolismi legati a C e N hanno registrato una maggior abbondanza nei *plot* trattati con compost (C o CV), rispetto al controllo (B). In riferimento all'analisi funzionale fungina, il gruppo dei funghi simbionti ha mostrato un'abbondanza dipendente dalla posizione, con un incremento dalla posizione più bassa (1) fino a quella centrale (3) e una diminuzione nelle posizioni superiori (4 e 5). Lo stesso gruppo è risultato, inoltre, più abbondante in B e CV, rispetto a C. In tale gruppo, i funghi in grado di formare micorrize arbuscolari sono risultati maggiormente presenti. L'abbondanza del gruppo dei saprofiti aumenta nelle posizioni centrali (2,3,4) e in entrambi i trattamenti con compost(C o CV), anche se in maniera non significativa. L'abbondanza dei funghi patogeni, animali e vegetali, è risultata estremamente bassa. con particolare riferimento alle posizioni centrali (2,3,4), in cui si è notato una ulteriore riduzione, di patogeni vegetali, come le *Cladosporiaceae*. In conclusione, le comunità fungine hanno mostrato di essere influenzate maggiormente dalla posizione, piuttosto che dal trattamento applicato. Solamente per il gruppo dei saprofiti è stata osservata una maggiore abbondanza nei trattamenti con compost (C o CV) rispetto al controllo (B).

2.2.3.3 Indicator Species analysis

L'indicator species analysis è stata utilizzata per valutare la significatività dell'associazione tra frequenza e abbondanza di una specifica famiglia tassonomica e trattamento o posizione. L'analisi della comunità batterica non ha evidenziato alcuna relazione significativa, né per trattamento che per la posizione. La comunità fungina, di contro, ha evidenziato la presenza di famiglie la cui abbondanza è risultata significativamente associata alla posizione (1,2,3,4,5). Nello specifico, in posizione 1 l'abbondanza di Rhizophydiaceae e Microascales spp. è risultata significativamente maggiore, mentre l'abbondanza di Myrmecridiaceae e Trichomeriaceae minore. In posizione 3 l'abbondanza di Helotiales spp. e in posizione 5 l'abbondanza di Massarinaceaee in posizione 5 di Alphamycetacea è risultata significativamente maggiore. Tuttavia, solamente per una famiglia fungina, le Helotiaceae, si è verificata una riduzione significativa dell'abbondanza nel plot trattato con compost vaschette (CV).

2.2.3.4 Network analysis

Valutando complessivamente le comunità batteriche e fungine attraverso l'analisi di *network*, che valuta le interazioni dirette e indirette tra le abbondanze delle due comunità, il trattamento con il compost vaschette (CV) mostra interazioni differenti rispetto agli altri trattamenti (B e C), che risultano, in questo caso, simili tra loro. La differenza tra i due trattamenti con compost (C e CV), potrebbe essere ricondotta alla diversa selezione di *taxa* fungini. Sia C che CV presentano un'elevata abbondanza di funghi saprofiti, ma solo in CV vi è un'elevata abbondanza di simbionti. Difatti, le statistiche di *network* hanno mostrato una comunità molto più connessa e ricca di funghi simbionti per CV, con una densità media significativamente superiore rispetto agli altri trattamenti (B e C). L'analisi statistica riferita alla *network analysis* non ha rilevato differenze significative per la posizione.

3. Conclusioni

L'analisi effettuata mediante l'uso di vari indicatori (morfologici, produttivi e microbici) ha evidenziato:

- la sostanziale equivalenza delle due tipologie di compost impiegate nella sperimentazione:
 il compost standard (C) e il compost ottenuto addizionando il 3% di plastiche compostabile ai rifiuti organici (CV);
- l'assenza di effetti negativi sulla salute della pianta, sul microbioma associato e sulla qualità del compost. Anche se sono ancora necessarie ulteriori analisi, i nuovi imballaggi possono essere considerati sicuri da compostare e rappresentano pertanto, un'alternativa sostenibile alle plastiche convenzionali;
- tutti gli indicatori impiegati nello studio sono stati in grado di rilevare differenze dovute alla disposizione dei *plot* lungo la pendenza del campo (circa 6%) in relazione ai diversi livelli di umidità:
- l'indicatore microbico è stato l'unico ad evidenziare differenze dovute al trattamento tra *plot* di controllo (B) e *plot* trattati con i due compost (C, CV), evidenziando la maggiore sensibilità e affidabilità dell'indicatore di "Soil Health" microbico [5-6] rispetto a quelli classici;
- una singola applicazione di compost è stata in grado di modificare la struttura delle comunità della rizosfera del frumento, rispetto a quella del controllo non trattato (B) [1]. L'aggiunta del compost, indipendentemente dal tipo (C o CV), è stata in grado di selezionare *taxa* benefici, con ruoli nel ciclo dei nutrienti e nella promozione della crescita delle piante;
- l'analisi approfondita del microbioma rizosferico ha rivelato una maggior sensibilità per la comunità fungina rispetto alla comunità batterica. L'analisi di *network* ha rilevato che le bioplastiche presenti in CV potrebbero aver selezionato particolari *taxa* fungini, maggiormente connessi tra loro;

In prospettiva, l'estrazione e sequenziamento delle comunità microbiche da frammenti bioplastici, misurazione delle attività enzimatiche e applicazione di modelli statistici complessi potrebbero essere effettuate per approfondire ulteriormente l'effetto della fertilizzazione con compost vaschette (CV) sulla salute del suolo e del suo microbioma.

Bibliografia

- [1] Heisey S., Ryals R., Maaz T.M. and Nguyen N.H., A Single Application of Compost Can Leave Lasting Impacts on Soil Microbial CommunityStructure and Alter Cross-Domain Interaction Networks. Front. SoilSci. (2022) 2:749212.
- [2] Takahashi S., Tomita J., Nishioka K., Hisada T., and Nishijima M. (2014). Development of a prokaryotic universal primer for simultaneous analysis of bacteria and archaea using next-generation sequencing. PLoS ONE 9, e105592.
- [3] **Toju H., Tanabe A.S., Yamamoto S., Sato H.** (2012) High-Coverage ITS Primers for the DNA-Based Identification of Ascomycetes and Basidiomycetes in Environmental Samples. PLoS ONE 7(7): e40863.
- [4] White T.J., Bruns T., Lee S., Taylor J.W. Amplification, and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. San Diego, CA: Academic Press; 1990.
- [5] **Kibblewhite M.G., Ritz K., Swift M.J.,** Soil health in agricultural systems. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. (2008) 363:685–701.
- [6] AAVV. Mission area Soil health and food: foresight on demand briefin support of the Horizon Europe mission board. European CommissionB-1049 Brussels (2021), 1-114.

Valutazione dell'efficienza della digestione anaerobica di impianti a scala reale mediante test di laboratorio

<u>Mariangela Soldano, Erika Sinisgalli* e.sinisgalli@crpa.it,</u> Mirco Garuti, Chiara Noto, Sergio Piccinini – Centro Ricerche Produzioni Animali – CRPA Lab, Sezione Ambiente ed Energia – Reggio Emilia

Riassunto

L'efficienza globale del processo di digestione anaerobica di impianti in scala reale può essere misurata tramite una valutazione, condotta a livello di laboratorio, del biometano prodotto dal mix di biomasse al carico (tramite test BMP – Biochemical Methane Potential) e dal digestato in uscita (tramite test RBP – Residual Biogas Potential). L'indicatore di efficienza così ottenuto indica la percentuale di metano residua o potenzialmente ancora ottenibile, tenendo conto sia degli aspetti biologici che tecnologici ed ha il vantaggio di poter essere calcolato senza la necessità di disporre di dati produttivi, non sempre fruibili in modo continuativo. Lo studio vuole mostrare i risultati della valutazione dell'efficienza di processo su tre casi studio: due impianti di trattamento della frazione organica del residuo solido urbano (FORSU) ed un impianto di tipo agro-industriale. Sono stati utilizzati due diversi approcci: uno basato sui dati di produzione energetica e di input biomasse, ed un secondo svincolato da tali dati e basato esclusivamente sulle analisi di laboratorio del BMP del mix di biomasse al carico e di RBP del digestato in uscita dall'impianto.

Summary

The global efficiency of the anaerobic digestion process of full-scale plants can be measured through an evaluation, conducted at laboratory level, of the biomethane produced by the loading biomass (via BMP – Biochemical Methane Potential test) and by the outcoming digestate (via RBP – Residual Biogas Potential test). The process efficiency indicator describes the residual biomethane production considering both the biological and technological aspects and it has the advantage to be calculated without the need of any production data supplied by the plants, which are not always easily available. The study aims to show the results of calculating the process efficiency of three case studies: two integrated biowaste treatment plants and one agro-industrial anaerobic digestion plant. The evaluation was done by comparing two different approaches: a first one, linked to the energy production and biomass input data of the plants, and a second one freed from such data and based on the BMP of the loading biomass and on RBP of the outcoming digestate.

1. Introduzione

La valutazione dell'efficienza biologica (il grado di conversione della sostanza organica in biometano) di un impianto di digestione anaerobica è un elemento di fondamentale importanza per la corretta gestione operativa ed economica dello stesso, e per limitare le emissioni di gas ad effetto serra. In impianti abbinati a cogenerazione da biogas o di produzione di biometano, la biomassa rappresenta una fonte di energia rinnovabile che può essere utilizzata in sostitu-

zione di combustibili di origine fossile per la produzione di energia elettrica o biocarburante. Se la biomassa non viene degradata efficientemente, oltre al mancato raggiungimento della produzione energetica attesa, si ottiene un digestato che presenta una condizione ancora non stabilizzata e potrebbe continuare a produrre biogas nella fase di stoccaggio. La valutazione dell'efficienza biologica può essere condotta in laboratorio attraverso un test che misura il potenziale metanigeno residuo del digestato ("RBP", Residual biogas potential) [1,2]. Si tratta di un parametro biologico che misura la quantità di biogas potenzialmente ancora producibile dalla sostanza organica presente nel digestato alla fine del processo di digestione anaerobica. Il confronto tra il valore di RBP del digestato e la produzione specifica di metano delle biomasse al carico (BMP – Biochemical Methane Potential) permette di ottenere la percentuale di metano potenzialmente ancora producibile e di valutare l'efficienza globale del sistema. Un'incompleta conversione della materia organica in biogas può essere dovuta a molteplici fattori: disequilibrio degli elementi di controllo biologici, un insufficiente tempo di ritenzione idraulica (tempo di permanenza della biomassa all'interno del digestore), miscelazione inadeguata, termoregolazione non uniforme, formazione di sedimenti, by-pass di materiale indigerito, fattori di inibizione chimici, antagonismi microbiologici, ecc. [3] La valutazione dell'efficienza di conversione in biogas diviene, quindi, un elemento di valutazione fra i più importanti per una corretta e profittevole gestione dell'impianto.

Il presente studio vuole mostrare i risultati del calcolo dell'efficienza del processo tramite due diversi approcci, entrambi legati alla misura di RBP del digestato, di tre impianti di digestione anaerobica: due impianti integrati di digestione anaerobica e compostaggio alimentati a FOR-SU (frazione organica del residuo solido urbano), di cui uno con tecnologia ad umido (wet), l'altro con tecnologia a semi-secco (semidry), ed un impianto di tipo agro-industriale.

2. Materiali e metodi

2.1 Descrizione degli impianti

I dati di input della biomassa (quantità e caratteristiche chimiche) e di produzione di biogas di ciascuno dei tre impianti oggetto del presente studio, sono stati monitorati per un periodo complessivo di sei mesi.

Il primo denominato *FORSU-wet* è costituito da una sezione di digestione anaerobica di trattamento della FORSU, di volumetria pari a ~15.400 m³, con tecnologia CSTR ad umido ed in regime mesofilo integrato con una successiva sezione dell'impianto dedicato alla stabilizzazione aerobica della frazione di solido separato del digestato insieme a rifiuti compostabili (principalmente verde pubblico). La potenzialità massima dell'impianto è di ~60.000 t/anno di FORSU; i flussi in uscita dallo stabilimento sono costituiti da 5.500.000 Sm³/anno di biometano e 7.000 t/anno di compost.

Il secondo, denominato *FORSU-semidry*, è un impianto integrato di trattamento della FOR-SU costituito da una sezione di digestione anaerobica, di volumetria pari a 2.000 m³, con tecnologia semi-secco ed in regime mesofilo; la successiva sezione dell'impianto è dedicata alla stabilizzazione aerobica del digestato in uscita insieme a rifiuti compostabili (verde pubblico). La potenzialità massima dell'impianto realizzato è di ~25.000 t/anno di FORSU. I flussi in uscita dallo stabilimento sono pertanto costituiti da 1.375.000 Sm³/anno di biometano e da ~5.000 t/anno di compost.

Il terzo (*AGROIND*) è un impianto di biometano agricolo, con tecnologia CSTR e a umido, con volumetria pari a 5.600 m³ e suddiviso in due digestori. Viene alimentato con sottoprodotti agroindustriali diversi, biomasse vegetali di secondo raccolto ed effluenti zootecnici, opera in regime mesofilo e produce circa 2.300.000 Sm³/anno di biometano in grado di alimentare un cogeneratore a biogas di potenza 999 kW_a.

2.2 Descrizione del metodo di misura

La determinazione della produzione di biogas residuo del digestato (RBP) e del BMP delle biomasse è stata condotta in laboratorio tramite test in batch della durata di 28 giorni, a 38°C, in bottiglie di vetro con volume utile di 1,35 L in conformità alla norma ISO 11734:2004. La caratterizzazione preliminare del digestato e delle biomasse in termini di solidi volatili e la misura della qualità del biogas (percentuale di $\mathrm{CH_4}$ e $\mathrm{CO_2}$) durante il test consentono di esprimere il risultato finale come produzione specifica di metano sul contenuto di solidi volatili del digestato (Nm³CH/tSV).

Per una corretta interpretazione del potenziale residuo di metano di un impianto, bisogna tener presente che il risultato del test RBP non può essere raffrontato direttamente con il BMP delle biomasse, ma deve essere basato sul bilancio di massa. Il bilancio di massa semplificato (in cui le perdite di biogas da tubazioni, gasometri, valvole di sovrapressione e perdite per trasformazione non vengono considerate) è descritto in Fig. 1 e dalla seguente equazione:

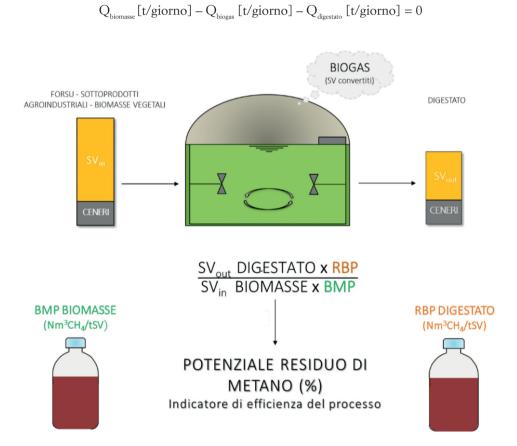


Fig. 1 – Il confronto tra la produzione specifica residua di metano del digestato (RBP – Residual Biogas Potential) e la produzione specifica di metano delle biomasse al carico (BMP – Biochemical Methane Potential) permette di calcolare il potenziale residuo di metano come indicatore di efficienza globale del processo.

Per valutare il potenziale residuo di metano dei tre impianti, sono stati messi a confronto due diversi approcci:

− CH₁ residuo (1) che è dipendente dai dati di carico delle biomasse in impianto e dai dati di produzione di biogas in impianto nell'arco del periodo del monitoraggio; questo approccio permette di stimare la quantità di digestato in uscita sulla base della differenza tra la quantità di biomassa introdotta in impianto ed il biogas generato associando il dato di RBP del digestato e rapportando il risultato ottenuto alla produzione effettivamente riscontrata in impianto. Lo svantaggio di questo approccio, è che non sempre tali dati di produzione sono fruibili in maniera continuativa in un determinato periodo del monitoraggio che si estende per almeno qualche mese (es. fermi impianto, manutenzioni).

- CH₄ residuo (2) che è svincolato dai dati di carico delle biomasse e di produzione del biogas (Fig. 1); permette di individuare un piano analitico, conducibile a livello di laboratorio, che consenta di determinare il contenuto di solidi volatili nelle matrici in ingresso e nel digestato in uscita, e di basare il calcolo del potenziale residuo di metano sul confronto tra la produzione specifica residua di metano dal digestato (RBP) e la produzione specifica del mix delle biomasse al carico (BMP); la combinazione di queste due variabili consente di determinare l'efficienza di un impianto di digestione anaerobica.

2.3 Analisi dati

CRPA Lab ha analizzato i risultati analitici di test RBP derivanti da una collezione di circa 80 campioni di digestato da FORSU e di test BMP da circa 250 campioni di FORSU provenienti da impianti di digestione anaerobica di diversa tecnologia (*wet* e *semidry*). Tali dati sono stati processati applicando l'approccio *CH*₄ *residuo* (2) descritto in precedenza per calcolare il potenziale residuo di metano medio di una digestione anaerobica di FORSU e poterla confrontare con indagini già condotte con la medesima metodologia ma su impianti di digestione anaerobica di tipo agricolo ed agro-industriale [2].

3. Risultati

I dati in Tab. 1 riportano i risultati di monitoraggio degli impianti e le caratteristiche chimico-fisiche del mix delle biomasse al carico e dei digestati in uscita, relativamente ai tre casi studio descritti precedentemente nel paragrafo 2. E' evidente come il processo di digestione anaerobica abbia determinato riduzioni del contenuto di solidi volatili in tutti e tre i processi, confermando la parziale conversione della sostanza organica in biogas attraverso la digestione anaerobica. La quota di sostanza organica non degradata dai consorzi microbici sarà poi quella che contribuirà all'apporto di carbonio organico nel suolo durante la fase di fertilizzazione del terreno con il digestato, nel caso dell'impianto agro-industriale, o quella che verrà ulteriormente sottoposta a trasformazioni nel successivo processo di compostaggio aerobico, nel caso degli impianti integrati anaerobici/aerobici di trattamento della FORSU.

			FORSU – wet	FORSU – semidry	AGROIND
ıse	ST _{in}	%	6,3	29,0	27,2
Biomase	SV	%ST	75,7	79,3	90,6
	BMP	Nm³CH₄/ tSV	503	402	350
Mix	CH ₄	%	66	62	59

Segue

			FORSU – wet	FORSU – semidry	AGROIND
	ST _{out} %		3,0	15,4	8,5
stato	SV _{out}	%ST	56,2	56,9	73,0
Digestato	RBP	Nm³CH₄/tSV	97,5	88,1	115,9
	CH ₄	%	69	63	59
	Q _{in}	t/giorno	410	45	78
Dati Impianto	Biogas	Nm³/giorno	16.070	7.439	10.762
D idmi	HRT	giorni	38	44	72
	COV	kgSV/m³ giorno 1,27		5,17	3,43

Tab. 1 – Caratteristiche chimiche, potenziale produttivo, flusso di massa in alimentazione e produzione effettiva degli impianti di digestione anaerobica oggetto di tale studio.

Mentre, in altri studi, l'efficienza del processo di digestione anaerobica viene normalmente misurata considerando la degradazione della sostanza organica con la riduzione dei solidi volatili (SV) dell'ingresso rispetto all'uscita usandolo, spesso, come indice di rendimento di processo [4,5], il presente lavoro si prefigura come obiettivo, invece, quello di usare il test BMP e il test RBP come un metodo analitico maggiormente esaustivo per valutare l'efficienza di processo rispetto alla semplice comparazione tra i solidi volatili della biomassa in ingresso e del digestato in uscita, proprio perché BMP ed RBP costituiscono una misura diretta del metano producibile dalla frazione di solidi volatili che possono realmente essere degradati dai consorzi microbici anaerobi.

Come si evince dal grafico illustrato in Fig.2, i risultati del calcolo sui tre casi studio ci rivelano come i due approcci, esplicitati nel precedente paragrafo, conducano ad un risultato finale similare sia che venga ottenuto tramite dati di carico e produzione forniti dall'impianto (approccio "CH4 residuo (1)"), o esclusivamente tramite test di laboratorio (approccio "CH4 residuo (2)"). Da ciò si desume come, in primo luogo, il test RBP sia, usando entrambi gli approcci descritti, un'analisi di laboratorio essenziale per valutare l'efficienza del processo di digestione anaerobica, fornendo informazioni utili all'impianto per eventuali azioni correttive dal punto di vista operativo ai fini dell'ottimizzazione di processo. In secondo luogo, l'approccio basato sulla determinazione in laboratorio del BMP del mix di biomasse in ingresso e del RBP del digestato in uscita permette di determinare l'efficienza del sistema svincolandosi da dati operativi a volte non fruibili e da monitoraggi dell'impianto che possono avere una durata di diversi mesi.

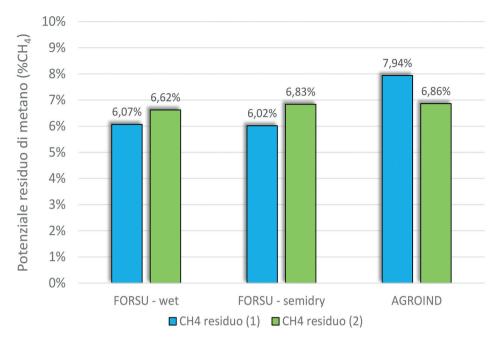


Fig.2 - Calcolo del potenziale residuo di metano su tre impianti di digestione

anaerobica: rispettivamente, un impianto FORSU con tecnologia a umido, un impianto FORSU con tecnologia a semi-secco ed un impianto agro-industriale. Il calcolo è stato effettuato secondo due approcci, entrambi basati sulla determinazione del potenziale metanigeno residuo (RBP), ma di cui CH₄ residuo (1), in blu, è vincolato ai dati di carico e di produzione di biogas effettiva, mentre CH₄ residuo (2), in verde, si basa sulla determinazione in laboratorio del BMP delle matrici in ingresso e del RBP del digestato in uscita.

Ampliando il raggio di analisi a dati di archivio interno di CRPA, l'RBP medio ottenuto dai digestati da FORSU è pari a $82 \pm 27 \text{ Nm}^3\text{CH}_4/\text{tSV}$ con una percentuale di metano nel biogas di circa il 66%, con un valore minimo di $32 \text{ Nm}^3\text{CH}_4/\text{tSV}$ e massimo di $143 \text{ Nm}^3\text{CH}_4/\text{tSV}$. Il potenziale di metano residuo in impianti FORSU, calcolato in condizioni ottimali di processo ovvero usando l'approccio " CH_4 residuo (2)" del presente lavoro, rappresenta mediamente circa il 6,75% di quello potenzialmente producibile dalle biomasse. Tali dati risultano in linea con i risultati ottenuti da una precedente indagine condotta su digestati provenienti da impianti di tipo agro-industriale [6].

4. Conclusioni

Il test RBP (*Residual Biogas Potential*) del digestato rappresenta un'analisi di laboratorio utile per capire diversi aspetti dell'impianto di digestione anaerobica. Dal punto di vista del processo, consente di valutare l'efficienza del sistema nel suo complesso, tenendo conto sia delle molteplici dinamiche che caratterizzano l'equilibrio microbiologico nel digestato, della tecnologia impiantistica e/o di eventuali modifiche operative e gestionali.

Nel presente lavoro la valutazione dell'efficienza della digestione anaerobica di impianti a scala reale è stata effettuata secondo due approcci, entrambi basati su test RBP del digestato, ma di cui uno è vincolato ai dati di carico e di produzione di biogas effettiva, mentre l'altro si basa esclusivamente sulla determinazione in laboratorio del BMP delle matrici in ingresso e del RBP del digestato in uscita.

Conoscere la produzione specifica residua di metano del digestato mediante test RBP, inoltre, rappresenta un buon punto di partenza per effettuare modellizzazioni matematiche finalizzate al calcolo delle emissioni GHG, in un'ottica di maggiore approfondimento sul tema, ad oggi assolutamente rilevante, della sostenibilità ambientale.

Bibliografia

- [1] A. Schievano, G. D'Imporzano, V. Orzi, F. Adani, On-field study of anaerobic digestion full-scale plants (Part II): new approaches in monitoring and evaluating process efficiency, Bioresour. Technol. 102 (2011) 8814–8819, https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.07.012.
- [2] M. Garuti, E. Sinisgalli, M. Soldano, A. J. Rodriguez, F. G. Fermoso, Biochemical conditions for anaerobic digestion of agricultural feedstocks: A full-scale study linking elements concentration and residual methane potential, Biomass and Bioenergy, 176 (2023), ISSN 0961-9534, https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106899.
- [3] C. Fabbri, M. Garuti, M. Soldano, S. Piccinini; Biogas, l'analisi del digestato svela l'efficienza dell'impianto L'Informatore Agrario 4/2016
- [4] **Demirer, G., Chen, S.**, 2004. Effect of retention time and organic loading rate on anaerobic acidification and biogasification of dairy manure. J. Chem. Technol. Biotechnol. 79, 1381–1387.
- [5] **Hartmann, H., Ahring, B.K.**, 2005. Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: influence of co-digestion with manure. Water Res. 39, 1543–1552.
- [6] M. Garuti, E. Sinisgalli, M. Soldano, C. Fabbri; Conosco il mio impianto monitorando il potenziale residuo di biogas Biogas informa 30/2019.

Gli impianti minimi Arera alla prova dei ricorsi al TAR: cosa succederà agli impianti per il trattamento della frazione organica?

<u>Giorgio Ghiringhelli ghiringhelli@arsambiente.it,</u> Michele Giavini, <u>E</u>lda Proietti, ARS ambiente Srl, Gallarate (VA) Paolo Pagani, Giuseppe Sbarbaro – Utiliteam Co. Srl, Milano

Riassunto

Il settore del trattamento delle frazioni organiche si presenta come un settore complesso, caratterizzato da condizioni infrastrutturali e organizzative non omogenee nel Paese. Le tariffe degli impianti di trattamento sono state determinate, fino ad ora, differentemente secondo diverse opzioni: libero mercato, metodo tariffario regionale, metodo tariffario EGA o altri metodi. Con l'MTR-2, l'ARERA ha precisato la regolazione cui saranno sottoposti i gestori di alcuni impianti di recupero dei rifiuti organici che trattano rifiuti di origine urbana, individuando nelle Regioni gli Enti che dovevano individuare gli impianti da sottoporre a regolazione (impianti minimi). La regolazione ARERA è messa però in discussione da alcune sentenze del giudice amministrativo così come le scelte di alcune Regioni in materia di individuazione degli "impianti minimi". L'analisi delle tariffe di mercato o regolate, e la valutazione dei possibili elementi di perequazione restituiscono un quadro complesso che richiede un'azione legislativa e regolatoria coordinata perché sia davvero efficace rispetto agli sfidanti obiettivi unionali.

Summary

The organic fraction treatment sector is a complex sector, characterized by non-homogeneous infrastructural and organizational conditions in the country. The tariffs of the treatment plants have been determined, until now, differently according to different options: free market, regional tariff method, EGA tariff method or other methods. With the MTR-2, the ARERA specified the regulation to which the managers of some organic waste recovery plants that treat waste of urban origin will be subjected, identifying in the Regions the Bodies that had to identify the plants to be subject to regulation (plants minimal). However, the ARERA regulation is questioned by some sentences of the administrative judge as well as the choices of some Regions regarding the identification of "minimum systems". The analysis of market or regulated tariffs, and the assessment of possible elements of equalization return a complex picture that requires coordinated legislative and regulatory action to be truly effective with respect to the challenging EU objectives.

1. Introduzione

La gestione integrata dei rifiuti urbani si compone di diverse fasi operative che possiamo rappresentare come una filiera interconnessa [1]. Il settore dei rifiuti urbani si presenta come un settore complesso, caratterizzato da un'elevata frammentazione del servizio lungo la filiera

e dall'assenza di condizioni infrastrutturali e organizzative non omogenee tra le diverse aree geografiche del Paese [2]. Il rifiuto organico (FORSU – Frazione organica dei rifiuti solidi urbani) è la frazione differenziata prevalente dei rifiuti urbani, con un costante incremento di intercettazione (da 4,5Mtonn nel 2011 a 7,5Mtonn nel 2021) [3]. L'obbligo di raccolta differenziata dell'organico istituito dal D. Lgs. 116/2020 a decorrere dal 31 dicembre 2021 ha un ruolo centrale nel raggiungimento degli obiettivi di preparazione per il riutilizzo e riciclaggio dei rifiuti urbani e di riduzione dello smaltimento in discarica. Essa viene trattata in impianti di digestione anaerobica e/o compostaggio che sono concentrati geograficamente nelle regioni del nord causando un noto flusso di rifiuti organici in direzione sud-nord. Tale sbilancio commerciale è legato sia alla relativa carenza impiantistica al sud sia a motivazioni economiche legate alle maggiori dimensioni impiantistiche e alla capacità di produrre efficientemente energia (elettrica o biometano) degli impianti al nord [4] che sono quindi in grado di proporre tariffe più basse. La gestione del rifiuto organico vede coesistere un assetto di mercato definito *ex lege* dal TUA (Testo Unico in materia Ambientale, D.Lgs. 152/2006) i cui elementi chiave sono:

- principio di libera circolazione: per il rifiuto organico è sempre consentita la libera circolazione sul territorio nazionale, al fine di favorirne il più possibile il recupero (art. 181, comma 5 del TUA e parere ANAC, n. 449/2021);
- principio di autosufficienza: è codificato nel TUA ma solo in riferimento allo smaltimento dei rifiuti urbani non pericolosi, non risultando quindi applicabile alla frazione organica (art. 182, comma 1 e 3), pur essendo un principio di importanza e valore generale (art. 35 "Sblocca Italia e PNGR);
- principio di prossimità: privilegiare il trattamento dei rifiuti organici in prossimità del luogo di produzione, per ridurne la movimentazione (art. 181, comma 5 del TUA).

A questo assetto di mercato, i cui principi richiamati sono spesso disattesi per effetto delle tariffe differenziali offerte dagli impianti, si sovrappone, proprio nel tentativo di sanarne le distorsioni, anche la regolazione di ARERA che, tra le materie assegnate in tema di regolazione delle fasi a valle della gestione rifiuti (impianti di trattamento) risultano particolarmente significative la "fissazione dei criteri per la definizione delle tariffe di accesso agli impianti di trattamento" e l'"approvazione delle tariffe definite, ai sensi della legislazione vigente, dall'ente di governo dell'ambito" [5]. Gli obiettivi specifici di ARERA sono quindi così riassumibili:

- sostenere gli obiettivi di preparazione per il riutilizzo e riciclo e di riduzione del conferimento in discarica stabiliti dal D.Lgs. 116/2020;
- garantire il fabbisogno impiantistico per il trattamento delle frazioni differenziate (in particolare del rifiuto organico) e indifferenziate;
- ridefinire il fabbisogno impiantistico nazionale mediante l'aggiornamento delle stime sui fabbisogni (d.P.C.M. 7 marzo 2016 e 10 agosto 2016, in attuazione dell'art. 14 del D.L. 12 settembre 2014, c.d. "Sblocca Italia") grazie al Programma Nazionale di Gestione dei Rifiuti (PNGR);
- favorire la libera circolazione delle frazioni differenziate destinate a riciclaggio e a recupero; garantire i principi di autosufficienza e prossimità.

I dati diffusi dal Consorzio Italiano Compostatori [6] indicano che, con l'estensione delle raccolte differenziate della frazione organica su tutto il territorio nazionale e la realizzazione degli impianti in itinere, nel 2025, i divari territoriali relativi al sistema impiantistico saranno colmati, almeno su scala macroregionale, come indicato dal Programma Nazionale per la Gestione dei Rifiuti (PNGR). Pertanto, secondo il CIC, il sistema italiano di trattamento della frazione organica sarebbe già avviato verso una piena autosufficienza impiantistica, quanto meno su base di macroarea.

2. L'MTR-2

Con la Deliberazione 3 agosto 2021, 363/2021/R/RIF "Approvazione del metodo tariffario rifiuti (MTR-2) per il secondo periodo regolatorio 2022-2025" l'Autorità ha precisato come intende sottoporre a regolazione i gestori di alcuni impianti di recupero (termovalorizzazione, compostaggio e TM/TMB) e gli impianti di smaltimento (discariche) che trattano rifiuti di origine urbana, indipendentemente dalla classificazione (EER) degli stessi, mentre sarà escluso il segmento della gestione delle frazioni differenziate, diversa da quella organica, in quanto caratterizzato dall'assenza di vincoli alla libera circolazione dei rifiuti, dalla previsione di obblighi EPR e dalla rilevanza dei mercati di sbocco per i materiali oggetto di recupero. ARERA è quindi chiamata a definire:

- 1) i costi riconosciuti che devono trovare copertura dalle entrate tariffarie (classificazione e criteri di loro determinazione);
- 2) l'articolazione tariffaria (struttura e valori);
- 3) le modalità applicative della tariffa.

Gli impianti sottoposti a regolazione tariffaria (inceneritori, discariche e impianti di trattamento delle frazioni organiche e TMB/TM) vengono quindi suddivisi in macro-categorie gestionali secondo una sequenza logica schematicamente rappresentata in Fig. 1 [7].



Fig. 1 – Sequenza logica per l'individuazione della classificazione degli impianti di trattamento secondo il MTR-2 (Utiliteam, 2021)

Adottando un approccio asimmetrico, ARERA prevede che, nell'ambito delle attività di programmazione settoriale previste dalla normativa vigente, le Regioni classifichino gli impianti in tre categorie: "minimi" e "integrati", oggetto di regolazione tariffaria dei costi; "aggiuntivi", esclusi dalla regolazione delle tariffe al cancello e liberi di confrontarsi sul mercato. Con la Deliberazione 3 agosto 2023, 389/2023/R/RIF "Aggiornamento biennale 2024-2025) del metodo tariffario rifiuti (MTR-2)" l'Autorità ha confermato sostanzialmente la struttura del metodo.

3. I ricorsi al TAR e le sentenze

Recenti pronunciamenti della giustizia amministrativa sono stati resi sui ricorsi presentati da diversi operatori contro l'individuazione degli "impianti minimi", effettuata da talune Regioni, in ossequio al quadro regolatorio delineato da ARERA con la Deliberazione 363/2021, e le conseguenze derivanti da tali scelte sugli assetti di mercato, ed in particolare:

– il TAR Emilia-Romagna [8] ha riconosciuto le ragioni del ricorrente dichiarando illegittime sia la delibera regionale impugnata, dove sono stati individuati gli "impianti minimi" di compostaggio/digestione anaerobica, sia la conseguente aggiudicazione dei flussi a tali impianti con procedura negoziata e senza bando, precisando in particolare che "il trattamento della"

frazione organica è ricompreso dal TUA tra le attività a mercato, senza restrizioni territoriali, e che dunque l'affidamento delle attività di trattamento deve avvenire mediante procedure competitive":

- il TAR Lombardia [9,10,11] si è espresso:
- o accogliendo le domande di annullamento della deliberazione 363/2021 di ARERA e degli atti conseguenti della Regione Puglia e di AGER Puglia seguito dei ricorsi presentati da alcuni operatori per l'annullamento degli atti di designazione degli "impianti minimi", assunti in attuazione dei provvedimenti ARERA;
- o stabilendo che Regione Emilia-Romagna e ATERSIR avrebbero impropriamente individuato gli impianti di chiusura del ciclo "minimi" e "aggiuntivi", accogliendo la domanda di annullamento della deliberazione ARERA, per la parte di interesse.

In generale, per il tribunale amministrativo, l'impostazione adottata da ARERA circa il mandato conferito alle Regioni per l'individuazione degli "impianti minimi" va oltre le funzioni attribuitele ex lege e si scontra con il riparto delle competenze tra Stato e Regioni, in materia di rifiuti, e in particolare il TAR Lombardia conclude che "non si rinviene alcuna disposizione legislativa che supporti la competenza di ARERA nell'individuazione di impianti di chiusura del ciclo "minimi" tra gli impianti di trattamento della frazione organica, inceneritori con e senza recupero di energia e discariche presenti sul territorio". Le sentenze citate seguono un intervento dell'AGCM (Autorità Garante della Concorrenza e del Mercato) [12] che segnalava possibili distorsioni della concorrenza in esito ai provvedimenti adottati dalle Regioni Emilia-Romagna e Friuli-Venezia Giulia in attuazione della già menzionata deliberazione ARERA. In particolare l'intervento dell'AGCM ritiene condivisibile, in una prospettiva concorrenziale, l'utilizzo dell'istituto regolatorio degli "impianti minimi" proposto da ARERA nelle situazioni di deficit impiantistico e di fallimento di mercato, e l'opportunità di sottrarre al mercato i relativi flussi di organico a trattamento, direzionandoli mediante lo strumento della programmazione agli impianti più prossimi, con l'applicazione di tariffe al cancello regolate, ma precisa che la sottrazione dei flussi al mercato si giustifica solo per un tempo limitato e funzionale al raggiungimento degli obiettivi di riequilibrio territoriale. Infine, l'AGCM evidenzia che, nelle Regioni le cui deliberazioni sono state attenzionate dai TAR, non è documentato alcun deficit impiantistico che giustifichi la scelta compiuta e quindi gli indirizzi del PNGR e le regole del MTR-2 sarebbero state, dunque, utilizzate in modo "strumentale" per proteggere l'impiantistica regionale, cagionando peraltro un aggravio di costo per gli utenti del servizio.

4. Il tema della qualità dei rifiuti organici

Il tema della misura della qualità del rifiuto organico (ovvero della presenza di MNC – Materiali Non Compostabili) è estremamente rilevante in funzione degli obiettivi previsti dalla Direttiva Quadro Rifiuti 2008/98/CE come recentemente modificata, che prevede il calcolo del riciclaggio al netto degli scarti generati nella fase di raccolta e trattamento, imporranno di attuare misure finalizzate al miglioramento della qualità dei rifiuti raccolti. Il primo target (55% netto) è da raggiungere al 2025, quindi occorre da subito mettere in atto un metodo che incentivi il suo raggiungimento. Il sistema di perequazione proposto da ARERA con il DCO 611/2022/R/RIF, applicato solo agli impianti "minimi", così come strutturato, non tiene conto della qualità del rifiuto organico raccolto non prevedendo alcuna modulazione della tariffa al cancello in base alla qualità stessa: infatti l'attuale impostazione prefigura di incentivare esclusivamente le quantità raccolte (Crec espresso in €/tonnellata) generando così l'effetto paradossale di spingere verso l'aumento delle quantità raccolte e classificate come "rifiuto organico", non curandosi della loro qualità. Un ausilio al raggiungimento degli obiettivi potrebbe essere indotto da un meccanismo incentivante di tipo economico che includesse elementi

di modulazione volti ad incentivare il continuo miglioramento della qualità. Occorrerebbe quindi introdurre meccanismi che:

- prevedano una modularità applicativa che permetta di fare apprezzare il vantaggio anche economico che gli utenti potrebbero ottenere al raggiungimento di risultati positivi;
- permettano di adattare gli obiettivi anno per anno così da "spingere" nella direzione di una evoluzione dei sistemi di gestione dei rifiuti orientata al miglioramento della qualità.

5. Considerazioni riguardo alle tariffe

ARERA, nelle premesse della delibera 389/2023/R/RIF, in coerenza con quanto stabilito dall'articolo 1, comma 1 della legge 481/95, ribadisce le finalità che si propone di perseguire: – la finalità di garantire la promozione della concorrenza e dell'efficienza nel settore dei servizi di pubblica utilità;

- adeguati livelli di qualità nei servizi medesimi in condizioni di economicità e di redditività;
- [e di assicurarne] la fruibilità e la diffusione in modo omogeneo sull'intero territorio nazionale; tutto ciò "definendo un sistema tariffario certo, trasparente e basato su criteri predefiniti, promuovendo la tutela degli interessi di utenti e consumatori" e indirizzando l'utilizzo delle risorse disponibile al fine di "garantire l'adeguamento infrastrutturale agli obiettivi imposti dalla normativa europea".

Si tratta di obiettivi che, alla prova dei fatti, stanno trovando difficoltà ad essere applicate. I ricorsi da parte di molteplici operatori di cui si è dato conto nel paragrafo 3 che precede, sono la più evidente rappresentazione delle problematiche che ancora necessitano di essere risolte. La scelta di ARERA di identificare una gerarchia nella classificazione degli impianti facendone discendere oneri e vantaggi, ha messo in evidenza come l'attuale struttura delle norme che intervengono sul servizio rifiuti non permettano di attuare azioni che linearmente permettano di raggiungere gli obiettivi dichiarati dall'Autorità. La definizione di impianti "minimi" introdotta da ARERA con l'MTR-2, dovrebbe permettere di sviluppare una adeguata rete infrastrutturale nei territori che ne sono sprovvisti grazie alla garanzia fornita alle imprese che investono in tali territori di ricevere adeguate quantità di rifiuto per un tempo sufficiente a poter rientrare degli investimenti realizzati. In questo periodo, in pratica, tali volumi sarebbero sottratti al mercato, ma si tratterebbe di un periodo limitato, utile al recupero degli investimenti. Le attuali norme che regolano l'attività di recupero della frazione organica dei rifiuti prevedono anche per questa frazione di rifiuto la libera circolazione sul territorio nazionale, nel rispetto del già citato TUA che la ricomprende tra quelle gestite "a mercato". Inibirne la circolazione, alla prova dei fatti, appare difficile, anche a causa di comportamenti attuati da taluni operatori che, nel pieno rispetto delle regole concorrenziali, in questo periodo storico hanno proposto condizioni particolarmente favorevoli anche in territori molto distanti da loro dando prova di un mercato che sa essere efficiente, dato che il prezzo proposto si pone ad un livello più basso rispetto a quello derivante dall'applicazione delle regole tariffarie ARERA. Il confronto tra le quotazioni offerte da fornitori di altri territori e i valori risultanti dall'applicazione del MTR-2, quindi, segnala differenze rilevanti a favore dei primi: alcuni impianti - tipicamente di grandi dimensioni - possono decidere di offrire condizioni che non tengono conto di tutte le componenti di costo, anche perché quasi sempre possono anche fare conto su ricavi provenienti dalla produzione di energia, ricavi che, lo ricordiamo, non vengono considerati nel calcolo delle tariffe al cancello. Occorre altresì considerare che alcuni operatori potrebbero anche essere poco attenti alla qualità del rifiuto ritirato, accettando la presenza di impurità a livelli anche superiori a quelli medi pur di avere a disposizione volumi di rifiuto che massimizzino la quantità di energia prodotta. Quanto descritto, ovvero la semplice applicazione delle leggi di mercato, potenzialmente potrebbe allontanare il raggiungimento degli obiettivi qualitativi che la stessa Autorità vuole perseguire (Delibera 387/2023/R/ RIF). L'art. 181, comma 5 del TUA, prevede che sia privilegiato "il loro trattamento in prossimità del luogo di produzione, per ridurne la movimentazione" ma il fattore "prossimità", in realtà, risulta meno rilevante di fronte alla possibilità di ottenere un prezzo più basso, e le valutazioni connesse all'impatto ambientale derivante dal trasferimento dei rifiuti a grande distanza passano spesso in secondo piano senza essere adeguatamente valorizzate analiticamente. Il rischio di questa situazione consiste nella possibilità che i territori – regionali o macroregionali – non ancora forniti di adeguate infrastrutture trovino ulteriori difficoltà nei tentativi di chiusura del gap impiantistico, e il metodo MTR-2 non riesca a dare una soluzione a questo problema. Vi è poi una considerazione ulteriore che varrebbe forse la pena di analizzare: come già illustrato nel paragrafo 1, secondo uno studio del Consorzio Italiano Compostatori (CIC), entro il 2025 il fabbisogno italiano di impianti di trattamento del rifiuto organico sarà completamente soddisfatto, almeno a livello macroregionale. Si tratta di impianti già autorizzati che saranno completati entro il triennio, la maggior parte dei quali sarà in grado di produrre biometano. Se la previsione del CIC si avvererà, la previsione tariffaria legata alla presenza di impianti "minimi" sarebbe superata praticamente dovunque e la determinazione del prezzo sarebbe affidata esclusivamente al mercato (ad eccezione degli impianti "integrati"): la regolazione dovrebbe fare un "passo indietro" e non sarebbe più applicabile in ambito tariffario. Senza la leva tariffaria, anche le norme riguardanti la qualità dei rifiuti conferiti – per cui ARERA ha avviato un percorso con la delibera 387/2023/R/RIF – potrebbero essere più difficili da conseguire perché verrebbe meno lo strumento di pressione rappresentato dalla tariffa. Sulla base di questi dati emergono ulteriori considerazioni che, nella evoluzione regolatoria, dovrebbero essere valutate con attenzione:

- il rispetto degli obiettivi ambientali, che dovrebbero nella pratica assurgere ad elemento meritevole di reale valorizzazione;
- gli effetti delle dinamiche concorrenziali conseguenti allo sviluppo della rete impiantistica anche nelle zone ad oggi ancora connotate da un deficit infrastrutturale, anche tenendo conto degli investimenti programmati utilizzando fondi PNRR;
- la possibilità di incidere sulla qualità dei rifiuti gestiti negli impianti tenendo conto che lo sforzo principale per raggiungere obiettivi qualitativi deve essere svolto dagli utenti e dai gestori del servizio di raccolta.

6. Conclusioni

La regolazione di ARERA prospettata per gli impianti di trattamento dei rifiuti organici è stata messa in discussione da alcuni pronunciamenti del giudice amministrativo ed è al centro di una segnalazione da parte dell'AGCM con conseguenze sugli assetti di mercato. Emerge con tutta evidenza la necessità di un chiarimento legislativo volto a rafforzare un quadro di regole chiare e certe, che consenta a tutti gli operatori del settore di agire in modo efficiente e efficace, anche al fine del raggiungimento degli obiettivi di preparazione per il riutilizzo e riciclaggio dei rifiuti urbani. Senza di esso, l'attività regolatoria di ARERA rischia di doversi dispiegare tenendo conto di troppi vincoli legislativi talvolta tra loro contraddittori. Una regolazione che non potesse agire compiutamente anche sul fronte impiantistico limitandosi a quello della raccolta e trasporto rischierebbe di lasciare insolute alcune questioni che incidono sugli obiettivi ambientali e sul costo che viene posto in capo ai cittadini. Occorre ricordare che il primo stimolo all'affidamento ad ARERA del ruolo di regolatore del settore dei rifiuti era emerso proprio da una indagine dell'AGCM [13] ed in quella sede era emerso come l'evoluzione verso una struttura maggiormente concorrenziale del mercato sarebbe stata resa possibile grazie all'adozione di un "modello di regolazione centralizzato, affidando le competenze – per esempio – all'Autorità per l'energia il gas e il sistema idrico".

Raggiungere l'obiettivo auspicato da AGCM probabilmente obbliga ad un percorso graduale

che, per essere effettivo ed efficace, necessita di poter essere attuato nella pratica permettendo che si possa esprimere. E ciò può avvenire solo attraverso una coerente calibrazione ed integrazione delle norme esistenti così da eliminare le incongruenze che, a tutt'oggi, limitano il percorso di sviluppo e modernizzazione del settore rifiuti.

Bibliografia

- [1] **L. Bardelli**, MTR-2: La nuova regolazione tariffaria dei rifiuti per il periodo 2022-2025, ARERA, Milano, 14 luglio 2021;
- [2] **ARERA**, *Quadro strategico 2022-2025 dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente*, Delibera 13 gennaio 2022, 2/2022/A;
- [3] **ISPRA**, *Rapporto Rifiuti Urbani* Edizione 2022, Roma;
- [4] **REF Ricerche**, Rifiuto organico: tra mercato, concorrenza e regole, Quaderno Rifiuti, n. 238, maggio 2023;
- [5] Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2018 e bilancio pluriennale per il triennio 2018-2020, LEGGE 27 dicembre 2017, n. 205, GU Serie Generale n.302 del 29-12-2017 Suppl. Ordinario n. 62;
- [6] **M. Centemero et al.**, *La filiera del biowaste per lo sviluppo sostenibile*, Rapporto Annuale del CIC, Roma, 2023;
- [7] **G. Ghiringhelli, E. Amodeo, M. Signorini, G. Sbarbaro,** Le tariffe degli impianti di trattamento rifiuti urbani: gli effetti della regolazione Arera con il MTR-2, ECOMONDO, atti dei seminari, Maggioli Ed, 2021;
- [8] TAR Emilia-Romagna, Sentenza n. 17/2023,
- [9] TAR Lombardia, Sentenza n. 486/2023;
- [10] TAR Lombardia, Sentenza n. 501/2023;
- [11] TAR Lombardia, Sentenza n. 578/2023;
- [12] **AGCM**, "Regioni Emilia-Romagna e Friuli Venezia Giulia Mercato dei servizi di trattamento della frazione organica dei rifiuti solidi urbani", AS1875 –, 23.12.2022;
- [13] **AGCM**, IC 49, Comunicato stampa del 16/02/2016.

Verso una gestione sostenibile dei rifiuti: analisi di efficienza dei processi di trattamento e recupero della FORSU nelle regioni italiane

Antonio D'Alessio, antonio.dalessio002@studenti.uniparthenope.it Università degli studi di Napoli "Parthenope", Napoli

Riassunto

Il presente lavoro è finalizzato all'analisi delle performance nella gestione dei rifiuti delle diverse regioni italiane. Ci si sofferma sulla fase di trattamento biologico della frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU), rappresentante l'ammontare più elevato di rifiuto urbano prodotto e con la maggiore complessità di trattamento. Attraverso l'applicazione della Data Envelopment Analysis (DEA) sono risultate quattro regioni efficienti, di cui due super efficienti, tutte collocate nell'Italia Settentrionale. L'analisi dei risultati conduce alla centralità della questione degli scarti, la cui corretta gestione necessita di un'adeguata copertura impiantistica secondo il principio di autosufficienza e prossimità e, soprattutto, dall'efficienza tecnico-produttiva degli impianti di trattamento. L'interpretazione dei dati ha rilevato l'importanza degli impianti di digestione anaerobica ai fini di una gestione dei rifiuti orientata alle logiche dell'economia circolare.

Summary

This work is aimed at analyzing the performance in waste management of the various Italian regions. We focus on the biological treatment phase of the organic fraction of solid urban waste (FORSU), representing the highest amount of urban waste produced and with the greatest complexity of treatment. Through the application of Data Envelopment Analysis (DEA), four efficient regions emerged, two of which were super-efficient, all located in Northern Italy. The analysis of results leads to the centrality of organic waste scraps, correct management of which requires adequate plant coverage according to principle of self-sufficiency and proximity and, above all, technical-production efficiency of treatment plants. The interpretation of data has revealed the importance of anaerobic digestion plants for the purposes of waste management oriented towards the logic of circular economy.

1. Introduzione

La direttiva 2008/98/CE [1] presenta il seguente ordine di priorità per il trattamento dei rifiuti: prevenzione; preparazione per il riutilizzo; riciclaggio; recupero di altro tipo; smaltimento. Questa gerarchia indirizza gli stati membri all'adozione di pratiche e politiche in linea con il concetto di economia circolare, intesa come un sistema rigenerativo che mira ad aumentare l'efficienza dell'uso delle risorse, con particolare attenzione ai rifiuti urbani e industriali, per raggiungere un migliore equilibrio e armonia tra economia, ambiente e società [2].

In Italia, lo strumento di indirizzo per le Regioni e le Province autonome per la pianificazione della gestione dei rifiuti è il Programma Nazionale per la Gestione dei Rifiuti (PNGR), previsto e definito dall'articolo 198-bis del Testo Unico Ambientale. Il Programma si pone come uno dei pilastri strategici e attuativi della Strategia Nazionale per l'Economia Circolare e prevede che le regioni debbano essere autonome nella gestione dei rifiuti. In alcuni casi, l'autonomia gestionale può essere garantita su un territorio più ampio, da individuare come "macroarea", previo accordo tra le Regioni interessate [3]. Tuttavia, tale deroga non si applica alla frazione organica dei rifiuti differenziati, per la quale si registra l'ammontare più elevato di rifiuto urbano prodotto e con la maggiore complessità di trattamento. Si è scelto quindi di concentrare il presente lavoro sull'analisi dell'efficienza delle regioni italiane in riferimento al trattamento biologico della frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU).

La metodologia utilizzata è la Data Envelopment Analysis (DEA), ampiamente utilizzata nella valutazione delle pratiche di gestione dei rifiuti, dimostrandosi uno strumento prezioso sia per i ricercatori che per i responsabili politici. L'originalità del presente lavoro risiede nella valutazione di nuovi parametri, integrando più indicatori di efficienza derivati da diverse fonti. Sulla base di input e output selezionati, il paper risponde alle seguenti domande di ricerca:

- Quali sono le regioni più efficienti nel trattamento della FORSU?
- Quali sono le soluzioni impiantistiche più efficienti?
- Considerando indicatori di natura diversa e le specificità della frazione organica, quale potrebbe essere la causa dell'efficienza o inefficienza?

L'obiettivo finale è fornire alle amministrazioni competenti una serie di informazioni sintetiche di supporto all'individuazione di accorgimenti correttivi finalizzati al miglioramento del proprio sistema di gestione della FORSU.

2. Relazione

Al fine di rispondere alle domande di ricerca, si è deciso di utilizzare la Data Envelopment Analysis (DEA), una tecnica non parametrica che permette di valutare l'efficienza relativa di un insieme di entità omogenee rispetto all'uso dei loro input e all'ottenimento dei loro output [4]. Tale scelta metodologica deriva dalla crescente rilevanza assunta dalla DEA nella valutazione dell'efficienza della gestione dei rifiuti a partire dagli anni 2000 fino a studi più recenti [5] [6] [7]. Alcuni organismi di regolamentazione e governi usano la DEA nelle loro politiche di gestione dei rifiuti, come in Spagna e in Australia [8].

Halkos & Petrou (2019) [9] suggeriscono una metodologia di elaborazione della DEA basata su cinque fasi: *data acquisition*; *data preparation*; *data analysis*; *results*; *conclusions*. La relazione seguirà dunque la struttura proposta dai due autori.

2.1 Data acquisition

Innanzitutto, si è scelto di analizzare il settore dei rifiuti con una netta delimitazione dei confini dell'analisi sull'Italia, soffermandosi sulle performance delle singole regioni. Data la specificità settoriale, la principale banca dati a livello nazionale è rappresentata dal Catasto Rifiuti, la cui sezione nazionale è gestita dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). Si evidenzia che le regioni considerate nell'analisi sono 18, data l'esclusione di Valle d'Aosta e Basilicata per l'assenza sui territori di impianti di trattamento biologico della FORSU.

In particolare, sono stati acquisiti i seguenti dati relativi all'anno 2021:

- Peso in tonnellate della frazione organica dei rifiuti urbani raccolti per singola regione [10];
- Costo individuato dagli enti locali per le attività di trattamento e recupero dei rifiuti urbani (CTR), selezionando il solo costo pro capite relativo alla frazione organica (frazione umida + frazione verde) per singola regione [10];
- Quantità di trattamento autorizzata (in tonnellate) per singola tipologia di impianto di trattamento biologico (impianti di compostaggio, impianti di trattamento integrato e impianti di digestione anaerobica) a livello regionale [10];

- Quantità di output prodotto dalle tre tipologie di impianti, considerando biogas, biometano e compost, per singola regione [11];
- Peso in tonnellate dei rifiuti effettivamente trattati dalle tre tipologie di impianti per singola regione [11].

2.2 Data preparation

Per la preparazione dei dati ci si è basati su alcuni riferimenti della teoria economico-aziendale. Si considera l'assunto che la condizione di efficienza sia data da maggiori rendimenti fisico-tecnici, relativi a fattori produttivi e processi produttivi, e minori costi [12] [13].

In dettaglio, sono stati elaborati quattro indicatori di sintesi, su dati riferiti all'anno 2021:

FORSU raccolta pro capite, data dal rapporto tra il peso della frazione organica raccolta e il numero di abitanti residenti per singola regione;

Costo pro capite della frazione organica, ottenuta sommando i costi (CTR) rilevati da Ispra per le sole frazioni umide e verdi rapportandoli al numero di abitanti residenti per singola regione;

Rendimento fattori produttivi, dato dal rapporto tra output ottenuti (peso in tonnellate di biogas, biometano e compost) e input impiegati (peso in tonnellate di FORSU trattate dalle tre tipologie di impianti siti sui territori regionali);

Rendimenti processi produttivi, dati dal rapporto tra output ottenuti e capacità massima di trattamento (peso in tonnellate dei rifiuti trattabili) degli impianti situati sui territori regionali. I primi due indicatori rappresentano gli input dell'analisi, mentre i successivi gli output. Entrambe le variabili di input sono state normalizzate in base alla popolazione residente in ogni regione, sulla base dell'assunto che sia costi che quantità raccolte siano direttamente proporzionali alla numerosità della popolazione residente sul territorio regionale. La categorizzazione in input e output, strumentale alla successiva fase di analisi, è riportata nella Tabella 1.

DMU	Regioni	FORSU racc. pro capite	CTR pro capite	Rend. fattori	Rend. processi
1	Pierronte	82,6	20,41	0,342	0,247
2	Lombardia	124,58	19,59	0,354	0,328
3	Trentino-Alto Adige	117,14	18,28	0,328	0,295
4	Veneto	132,77	20,56	0,296	0,231
5	Friuli-Venezia Giulia	114,41	16,49	0,238	0,229
6	Liguria	80,84	16,56	0,270	0,393
7	Emilia-Romagna	136,9	28,12	0,212	0,233
8	Toscana	163,94	43,68	0,149	0,167
9	<i>Um</i> bria	90,87	22,16	0,119	0,182
10	Marche	139,94	26,09	0,046	0,058
11	Lazio	106,98	20,89	0,157	0,202
12	Abruzzo	115,8	35,67	0,068	0,084
13	Molise	66,29	26,4	0,118	0,100
14	Campania	126,38	41,78	0,099	0,117
15	Puglia	98,31	19,58	0,119	0,087
16	Calabria	94,04	30,21	0,126	0,159
17	Sicilia	73,68	21,78	0,067	0,151
18	Sardegna	153,29	35,97	0,058	0,088

Tab. 1 - Matrice dei dati.

2.3 Data Analysis

Per l'analisi dei dati si è applicata la Data Envelopment Analysis (DEA), un approccio non parametrico basato sulla programmazione matematica, utilizzando il software di calcolo statistico R. La DEA è finalizzata alla valutazione dell'efficienza delle performance di un insieme di unità produttive omogenee tra loro, denominate Decision Making Unit – DMU [4]. Una

DMU è definita efficiente in senso assoluto se, confrontando con i dati rilevati per le altre unità, non è possibile creare condizioni migliori senza alterare la tecnologia o qualsiasi altro fattore del processo produttivo. L'efficienza su cui si basa la DEA deriva dagli studi condotti da Farrell (1957). Qui si considera l'efficienza tecnica, la quale misura la relazione tra input e output concentrandosi sulla minimizzazione degli sprechi e sull'applicazione delle migliori tecnologie [14].

Coerentemente con gli obiettivi della presente ricerca, si è proceduto con una DEA *input-oriented* per confrontare e valutare quanto efficientemente una regione utilizza le risorse a disposizione rispetto ai rendimenti dei processi e degli impianti di trattamento. Il concetto chiave della DEA è quello di "frontiera efficiente", su cui si posizionano le DMU che presentano il livello minimo di input utilizzabile per ottenere un dato insieme di output. Le DMU con indice pari a 1 delineano la frontiera di produttività efficiente, mentre quelle che hanno risultato compreso tra 0 e 1, essendo distanti dalla frontiera, avranno di conseguenza performance non efficienti [4].

Tuttavia, è possibile compiere ulteriori passi in avanti nella selettività delle regioni efficienti. Nel momento in cui all'interno del campione si riscontrano più unità efficienti si crea il problema della loro comparazione. Andersen & Petersen (1993), in risposta a tale questione, hanno ideato il modello della Super Efficienza o Super DEA. Con questa evoluzione del metodo standard si genera un nuovo sistema di classificazione delle unità efficienti rendendo possibile per queste ultime l'ottenimento di un punteggio d'efficienza maggiore dell'unità [15].

2.4 Results A questo punto bisogna interpretare i risultati ottenuti al fine di rispondere alle domande di ricerca esposte nell'introduzione.

DMU	Regioni	Coeff DEA	Ranking	DMU	Regioni	Coeff Super DEA	Ranking
1	Piemonte	0,9302001	5	1	Piemonte	0,9302001	3
2	Lombardia	1	1	2	Lombardia	Inf	
3	Trentino-Alto Adige	1	1	3	Trentino-Alto Adige	1,0203579	1
4	Veneto	0,8429491	6	4	Veneto	0,8429491	4
5	Friuli-Venezia Giulia	1	1	5	Friuli-Venezia Giulia	1,004245	2
6	Liguria	1	1	6	Liguria	Inf	
7	Emilia-Romagna	0,5864761	13	7	Emilia-Romagna	0,5864761	11
8	Toscana	0,3775183	18	8	Toscana	0,3775183	16
9	Umbria	0,7441336	10	9	Umbria	0,7441336	8
10	Marche	0,6320429	11	10	Marche	0,6320429	9
11	Lazio	0,7893729	8	11	Lazio	0,7893729	6
12	Abruzzo	0,4622932	15	12	Abruzzo	0,4622932	13
13	Molise	0,6246212	12	13	Molise	0,6246212	10
14	Campania	0,3946865	17	14	Campania	0,3946865	15
15	Puglia	0,8421859	7	15	Puglia	0,8421859	5
16	Calabria	0,5458457	14	16	Calabria	0,5458457	12
17	Sicilia	0,7571166	9	17	Sicilia	0,7571166	7
18	Sardegna	0,4584376	16		Sardegna	0,4584376	14

Tab. 2 – Risultati DEA e Super DEA. In grassetto sono indicate rispettivamente: le regioni efficienti nella tabella a sinistra e le regioni super efficienti nella tabella a destra.

Da quanto indicato nella Tabella 2 si evince che solo quattro regioni risultano efficienti, presentando un valore pari a 1. Di conseguenza, ben 14 regioni gestiscono la fase di trattamento e recupero della frazione organica in modo inefficiente. Le regioni efficienti, ovvero Lombardia, Trentino-Alto Adige, Friuli-Venezia Giulia e Liguria, sono tutte situate nel nord Italia. Per terminare l'analisi è necessario proseguire con l'efficienza di secondo stadio, o Super DEA, per evidenziare le regioni più efficienti tra le efficienti. I valori restituiti da R riportano la presenza di due regioni super efficienti, ovvero il Trentino-Alto Adige e il Friuli-Venezia Giulia, con valori che superano l'unità. Lombardia e Liguria presentano, invece, il valore "Inf". Questo indica che le DMU non si intersecano più con la nuova frontiera, restando al di

fuori della stessa. Pertanto, pur risultando efficienti in primo stadio, non lo sono nel secondo. Nel tentativo di fornire risposte circa le cause della generale inefficienza, si considerano due ulteriori indicatori su dati riferiti sempre all'anno 2021, i cui valori per singola regione sono mostrati nella Tabella 3:

- incidenza degli scarti, definita come il rapporto tra la quantità di scarti generata dagli impianti di trattamento biologico e la quantità di FORSU complessivamente trattata dagli impianti;
- indice di trattamento dei rifiuti organici raccolti, data dal rapporto tra quantità di FORSU trattata dagli impianti presenti nelle singole regioni e la quantità totale di FORSU raccolta sul territorio regionale.

Regioni	Tasso di scarto	I ndice di trattamento
Campania	0,355	0,253
Marche	0,325	0,488
Calabria	0,302	1,180
Errilia-Romagna	0,201	1,304
Toscana	0,189	0,687
Sardegna	0,184	1,021
Sicilia	0,170	0,952
Abruzzo	0,159	1,116
Molise	0,158	2,645
Umbria	0,129	1,427
Liguria	0,117	0,497
Piernonte	0,108	1,378
Friuli-Venezia Giulia	0,107	2,302
Trentino-Alto Adige	0,101	0,848
Veneto	0,095	1,742
Lazio	0,090	0,505
Lomberdie	0,076	1,732
Puglia	0,071	0,791
M edia nazionale	0,163	1,159

Tab. 3 – Indicatori finali di sintesi. In grassetto sono indicate le regioni efficienti secondo la DEA. I valori in rosso indicano tassi di scarto inferiori alla media nazionale e indici di trattamento inferiori all'unità. In verde sono indicati i valori di tasso di scarto pari o superiori alla media nazionale e gli indici di trattamento pari o superiori all'unità.

Il primo indicatore aiuta a definire la soluzione impiantistica tecnologicamente più avanzata, in grado di ridurre al minimo gli scarti di processo. Il secondo indica la capacità della regione di portare i rifiuti raccolti alla fase di trattamento presso gli impianti situati sul proprio territorio. Un risultato inferiore all'unità indica una deficienza impiantistica tale da non consentire di chiudere il ciclo di gestione della FORSU a livello regionale, procedendo all'esportazione dell'eccedenza. Si tratta di un dato significativo ed allarmante, soprattutto per le regioni meridionali, dove la generale assenza impiantistica rende impossibile rispettare il principio della prossimità con conseguenti esportazioni di lunga distanza e un pesante aggravio di costi ambientali ed economici a carico dei cittadini.

Molto esplicativo è il caso della Liguria, regione valutata efficiente dall'analisi DEA. Dalla Tabella 3 essa risulterebbe non performante a livello di trattamento rispetto alla quantità raccolta, evidenziando una inadeguata capacità impiantistica. Tuttavia, costi e quantità raccolte sono tra i più bassi a livello nazionale e i rendimenti degli impianti esistenti molto alti (v. Ta-

bella 1). Questi risultati sono spiegati dai vantaggi di macroarea di cui beneficia trovandosi in prossimità di regioni con elevata copertura impiantistica. In questo caso, infatti, a differenza delle regioni meridionali, la possibilità di rispettare il principio di prossimità non rende la regione inefficiente, testimoniando una scelta strategica di gestione dei rifiuti maggiormente conveniente per i cittadini in termini di costi economici.

Inoltre, combinando gli indicatori, si nota come delle 14 regioni inefficienti, ben 9 presentano un'incidenza degli scarti superiori alla media nazionale e/o una percentuale di FORSU trattata sulla quantità raccolta inferiore all'unità. Delle quattro regioni con risultati degli indicatori in linea con quelli delle regioni efficienti secondo la DEA (Molise, Umbria, Piemonte e Veneto), risulta che tre di queste abbiano impianti di digestione anaerobica sui territori regionali con tasso di scarto prossimo allo zero (Molise, Piemonte, Veneto).

La questione degli scarti sembra essere dunque centrale nella comprensione dei risultati dell'analisi. Infatti, dagli scarti prodotti dagli impianti si può rilevare la maggiore efficienza della tecnologia basata sulla digestione anaerobica e il correlato elevato coefficiente di efficienza delle regioni che utilizzano tali impianti. La problematica di fondo è che tali scarti dovranno poi essere gestiti attraverso la modalità più idonea, considerando tra recupero di materia, recupero di energia, incenerimento e smaltimento in discarica. Sebbene le prime due siano da preferire, è opportuno sottolineare che si tratta comunque di modalità di trattamento non incentivate dalla gerarchia dei rifiuti europea. A questo si aggiunge l'assenza di copertura impiantistica in un'ampia macroarea del Paese.

A questo punto, ci si domanda come ridurre al minimo gli scarti nell'ottica degli obiettivi europei in tema di gestione dei rifiuti. L'analisi fornisce due possibili risposte:

- Migliorando la raccolta differenziata della frazione organica, riducendo al minimo il rischio di contaminazioni presenti e inviate presso gli impianti di trattamento;
- Investendo in un'adeguata dotazione impiantistica tecnologicamente avanzata, ovvero impianti di digestione anaerobica.

În sintesi, l'ottimizzazione della raccolta della frazione organica riveste un ruolo di primaria importanza per il soggetto istituzionale responsabile della raccolta differenziata, in quanto consente di ottenere un rifiuto destinabile a riciclo e di evitare quindi una gestione orientata allo smaltimento. Tuttavia, si tratta di una condizione necessaria ma non sufficiente. In assenza di una adeguata dotazione impiantistica di trattamento biologico del rifiuto organico, l'auspicato aumento del rifiuto differenziato rischierebbe di provocare paradossalmente un aggravio nei problemi di gestione. Infatti, si potrebbe delineare uno scenario di emergenza in cui i rifiuti correttamente differenziati rimarrebbero in attesa di conoscere la loro destinazione. Data la specificità della FORSU, l'impatto ambientale percepito sarebbe assai rilevante, con evidenti danni di immagine sia per le amministrazioni che per le aziende preposte alla raccolta e al trattamento. Pertanto, si ritiene che la scarsa copertura a livello di macroarea di impianti tecnologicamente avanzati sia la causa prima dell'inefficienza derivata dalla presente analisi. Il fattore tecnologico risulta molto rilevante siccome incide sul quantitativo di scarti destinati allo smaltimento. Oltre a risultare inefficace e inefficiente, un ciclo di gestione siffatto genera anche notevoli svantaggi economici ed ambientali.

3. Conclusioni

Il lavoro presentato evidenzia un Paese diviso in due macroaree con risultati di efficienza opposti: da una parte ci sono i territori che hanno investito su una dotazione impiantistica in linea con i fabbisogni, adeguandosi alla domanda secondo logiche di mercato e sposando il principio di autosufficienza e prossimità. Dall'altra, le regioni del Centro-Sud sembra abbiano trascurato l'urgenza di una pianificazione impiantistica condivisa, causando una importante deficienza a livello di macroarea. Occorre che esperti, decisori politici e amministratori si confrontino al fine

di delineare un chiaro percorso da intraprendere, identificando una scala ottimale degli impianti che assicuri una gestione efficiente da un punto di vista economico ed ambientale. In aggiunta, si rileva che il nuovo PNGR escluderebbe la possibilità di stipulare accordi di macroarea per la gestione della FORSU indicando l'obbligo di trattamento in regione. Tuttavia, la giurisprudenza in materia è in continua evoluzione. Si ritiene, pertanto, che le risultanze dell'analisi siano un tema di elevata rilevanza data l'incertezza regnante nel mercato del trattamento del rifiuto organico. Nonostante l'elaborato risponda alle domande di ricerca presentate nell'introduzione, si riscontrano diversi limiti, alcuni dei quali insiti nella metodologia stessa utilizzata. In primo luogo, si tratta di uno studio con confini geografici fortemente delimitati. Uno studio su scala internazionale, sia europea che extra-europea, consentirebbe sicuramente un'analisi di benchmarking più ampia, evidenziando punti di forza e debolezza del sistema Italia. Le evidenze potrebbero suggerire riforme europee sulla base di *best practices* individuate in alcune realtà locali.

Il lavoro di ricerca avviato con questo paper procederà con un estensione *time series*, in modo da evidenziare l'avvicinamento o meno alla frontiera efficiente comparando le scelte strategiche delle diverse amministrazioni regionali.

Infine, ci si auspica che l'interpretazione e discussione dei risultati possa rappresentare un contributo utile e significativo per *policy makers* e/o *practitioners*, orientando le scelte di investimento verso tipologie impiantistiche maggiormente efficienti e coerenti con le esigenze di infrastrutturazione dei singoli territori.

Bibliografia

- [1] **Parlamento Europeo e Consiglio dell'Unione Europea**, Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 novembre 2008, relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive (OJ L 312, 22.11.2008, p. 3–30).
- [2] Ghisellini, P., Cialani, C., Ulgiati, S., (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems, J. Clean. Prod. 114, 11-32.
- [3] Ministero della Transizione Ecologica, (2022). Programma Nazionale per la Gestione dei Rifiuti (PNGR). 30 Settembre, MITE, Roma.
- [4] Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E., (1978). Measuring the efficiency of decision making units. Eur. J. Oper. Res. 2 (6), 429-444.
- [5] Bosch, N., Pedraja, F., Suarez-Pandiello, J., (2000). Measuring the efficiency of Spanish municipal refuse collection services. Local Govern. Stud. 26 (3), 71-90.
- [6] Worthington, A.C., Dollery, B.E., (2001). Measuring efficiency in local government: an analysis of New South Wales municipalities' domestic waste management function. Pol. Stud. J. 29 (2), 232-249.
- [7] **Benito, B., Bastida, F., García, J.A.,** (2010). The determinants of efficiency in municipal governments. Appl. Econ. 42 (4), 515-528.
- [8] **Simoes, P., De Witte, K., Marques, R.C.,** (2010). Regulatory structures and operational environment in the Portuguese waste sector. Waste Manag. 30, 1130-1137.
- [9] Halkos, G., Petrou, K. N., (2019). Assessing 28 EU member states' environmental efficiency in national waste generation with DEA. J. Clean. Prod. 208, 509-521.
- [10] **ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale**, (2021), Banche dati sui rifiuti urbani. Tratto da Catasto rifiuti: https://www.catasto-rifiuti.isprambiente.it/index.php?pg=ru&advice=si.
- [11] **ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale**, (2022). Rapporto Rifiuti Urbani, Roma.
- [12] Zanda, G., (2015), Fondamenti di economia aziendale, Giappichelli, Torino.
- [13] Marchi, L., Paolini, A., (2021), Introduzione all'economia aziendale. Il sistema delle operazioni e le condizioni di equilibrio aziendale, Giappichelli, Torino.
- [14] Farrell, M.J., (1957). The measurement of productive efficiency. J. Roy. Stat. Soc. 120 (3), 253-290.
- [15] Andersen, P., Petersen, N. C., (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. Manag. Sci., 39 (10), 1261-1264.

Miglioramento del BMP dei fanghi attivi mediante l'utilizzo di materiali conduttivi

<u>Carlo Limonti carlo limonti@unical.it</u>, Caludiana Ramundo, Giulia Maria Curcio, Tiziana Andreloli, Alessio Siciliano Department of Environmental Engineering, University of Calabria, 87036 Rende (CS), Italy.

Riassunto

La digestione anaerobica rappresenta una valida un'opzione per la gestione dei fanghi attivi prodotti negli impianti di trattamento delle acque reflue municipali. Tuttavia, a causa delle loro complesse caratteristiche chimico fisiche, i fanghi di depurazione risultano difficili da trattare mediante i processi anaerobici convenzionali. Il presente lavoro si propone di valutare gli effetti dell'aggiunta di tre diversi materiali conduttivi (alluminio zero valente (ZVAl), magnesio zero valente (ZVMg) e grafite (Gph)) sulla degradazione anaerobica di fanghi di depurazione. I test sono stati condotti in batch in condizioni mesofile per una durata di 50 giorni. L'aggiunta di ZVAl e di Gph ha determinato un miglioramento del processo anaerobico. In condizioni stabili, si sono registrate rese di metano di circa 291 e 284 $\rm NmL_{CH4}/g_{SV}$ per i reattori con ZVAl e Gph, rispettivamente. Invece, per il campione di riferimento, costituito dai soli fanghi di depurazione, e per il campione con ZVMg si sono raggiunte rese pari a 279 e 213 $\rm NmL_{CH4}/g_{SV}$ rispettivamente.

Summary

Anaerobic digestion represents a suitable option for the management of activated sludge produced in municipal wastewater treatment plants. However, the complex chemical and physical characteristics make the activaded sludge a challenging matrix to treat in traditional anaerobic processes. The present work aims to evaluate the effects of the addition of three different conductive materials (zero-valent aluminium (ZVAI), zero-valent magnesium (ZVMg), and graphite (Gph),) to the anaerobic degradation of activated sludge. Tests were conducted in batch under mesophilic conditions for 50 days. The addition of ZVAI and Gph improved the anaerobic process. Under stable conditions, BMP of 291 and 284 NmL_{CH4}/ g_{SV} were recorded for the ZVAI and Gph reactors, respectively. Instead, for the reference sample of activated sludge and for the ZVMg samples BMP equal to 279 and 213 NmL_{CH4}/ g_{SV} were detected, respectively.

1. Introduzione

Ogni anno vengono prodotti ingenti quantitativi di fanghi dal trattamento delle acque reflue urbane [1]. Una corretta gestione di tali rifiuti rappresenta una problematica ambientale particolarmente rilevante [2]. Infatti, se non opportunamente stabilizzati e smaltiti possono aumentare considerevolmente la pressione ambientale a causa della presenza di sostanza organica parzialmente degradata, nutrienti, agenti patogeni, tensioattivi e idrocarburi [3]. Per far fronte alla sempre maggiore richiesta di smaltimento e valorizzazione dei fanghi prodotti negli impianti di depurazione delle acque reflue municipali, una tecnologia potenzialmente utilizzabile è rappresentata dalla digestione anaerobica [4]. Tuttavia, le complesse caratteristiche chimico fisiche dei fanghi di depurazione rendeno difficoltoso il loro utilizzo diretto

nei processi anaerobici convenzionali [5]. In particolare, le basse performance in digestione anaerobica sono principalmente dovute alla difficoltà da parte della biomassa di convertire le sostanze organiche complesse in substrati più semplici e facilmente assimilabili [6]. In tal senso l'utilizzo di materiali conduttivi da additivare rappresenta una tecnica promettente per il miglioramento delle performance in termini di produzione di biogas e di stabilizzazione dei fanghi [4,7]. L'utilizzo di materiali conduttivi agisce direttamente sul trasferimento diretto di elettroni (DIET) tra le diverse specie batteriche che governano il processo, rendendolo termodinamicamente più efficiente e velocizzandone la produzione di metano [8,9]. In tal senso, in un'ottica di economia circolare, le ricadute di una migliore performance di digestione anaerobica porterebbe ad aumentare l'autosufficienza energetica degli impianti e ridurre le spese relative allo smaltimento dei fanghi di depurazione. Il presente lavoro si propone di valutare gli effetti dell'aggiunta di tre diversi materiali conduttivi (alluminio zero valente (ZVAI), magnesio zero valente (ZVMg) e grafite (Gph)) sulle performance della digestione anaerobica di fanghi di depurazione.

2. Materiali e metodi

2.1 Materiali

Il fango attivo utilizzato come substrato per le sperimentazioni di digestione anaerobica è stato prelevato dalla linea di ricircolo di un impianto di depurazione a fanghi attivi di circa 190000 abitanti equivalenti situato a Rende (CS). I campioni di fango prelevati sono stati fatti ispessire in cilindri della capacità di 1 L per 24 ore a temperatura ambiente e successivamente conservati a 4°C. Per l'avvio dei test di digestione anaerobica è stato utilizzato come inoculo del digestato proveniente da un impianto di digestione anaerobica, alimentato con frazione organica dei rifiuti solidi urbani situato a Rende (CS). Per la determinazione dei principali parametri chimico-fisici dei campioni di fango e materiali conduttivi sono stati utilizzati reattivi di grado RPE per analisi.

2.2 Test di digestione anerobica

Le attività sperimentali condotte hanno previsto l'esecuzione di test di BMP (Biomethane Potential) utilizzando come substrato i fanghi attivi provenienti da un impianto di depurazione di acque reflue urbane. I test sono stati condotti in reattori di tipo batch della capacità di 1L con l'obiettivo di studiare le rese di produzione di biogas, l'evoluzione del processo e le caratteristiche del digestato prodotto.

Sono stati preparati tre reattori con la miscela di fango e inoculo in cui sono stati aggiunti i materiali conduttivi, un reattore contenente la sola miscela di fango e inoculo ed infine un reattore contenete il solo inoculo. Prima dell'avvio dei test di digestione, le singole matrici e le miscele preparate sono state caratterizzate dal punto di vista chimico-fisico. Complessivamente, ciascun reattore è stato avviato con un contenuto di 300g di campione composto secondo le modalità riportate in **Tab.1**. In ogni reattore è stato aggiunto un quantitativo pari a 3 g di materiale conduttivo (ZVAl, ZVMg, Gph) tale da raggiungere un valore di concentrazione paria a 10 g/L. Il contenuto di ogni reattore è stato mantenuto in agitazione per tutta la durata della prova tramite opportuni agitatori magnetici. Le prove sono state condotte in condizioni mesofile per una durata complessiva di 50 giorni. Al termine dei test, sui campioni in uscita è stata eseguita una caratterizzazione chimico fisica.

Miscela	Inoculo	Fango attivo	Materiale conduttivo	Totale
	(g)	(g)	(g)	(g)
Fango attivo (F)	-	258.11	-	
Inoculo (I)	45.93	-	-	
Miscela (F+I)	45.17	258.04	-	303.21
Miscela (F+I) + ZVAl	45.29	257.35	3.026	305.67
Miscela (F+I) + ZVMg	45.33	255.61	3.018	303.96
Miscela (F+I) + Gph	45.09	255.89	3.062	304.04

Tab. 1 - Composizione delle differenti miscele avviate a digestione anerobica.

2.3 Set-up sperimentale

I test di digestione anaerobica sono stati condotti utilizzando un impianto sperimentale di tipo batch costituito da una serie di reattori in vetro della capacità di 1 litro. L'attività di monitoraggio del metano prodotto è stata condotta mediante il sistema Respirometric Sensor della VELP (VELP Scientifica srl, Usmate, MB, Italia) in grado di rilevare il valore di pressione all'interno del reattore per intervallo compreso tra 500 e 2000 mbar. Il calcolo del BMP, definito come il volume massimo di metano prodotto rispetto ai grammi di solidi volatili (SV) immessi è stato calcolato secondo la seguente relazione:

$$BMP = \frac{V_{CH_4tot} [NmL]}{SV [g/Kg] M[Kg]}$$
 Eq (1)

Dove:

- \bullet V_{CH4 tot} è il volume di metano complessivamente prodotto al termine del test
- SV [g/kg] è la concentrazione di solidi volatili immessi
- M [g] è la massa di campione inserita nel sistema batch

2.4 Metodiche analitiche

La conduttività e il pH sono stati misurati mediante analizzatori da banco. I solidi totali (TS) e i solidi volatili (VS) sono stati misurati mediante analisi gravimetrica, dopo essiccazione e calcinazione dei campioni a 105 e 550 °C [10]. L'alcalinità è stata misurata con il metodo potenziometrico. La domanda chimica di ossigeno (COD) è stata determinata dopo digestione del campione a 150°C per due ore con $K_2Cr_2O_7$ e successiva titolazione con una soluzione di sale di Mohr [10]. Gli acidi grassi volatili (VFA) sono stati rilevati mediante distillazione del campione e successiva titolazione con idrossido di sodio (NaOH 0.01N) [10]. L'azoto totale e il fosforo totale sono stati determinati per via spettrofotometrica dopo digestione del campione a 120°C per 30 minuti [10]. L'azoto ammoniacale (N-NH $_4$), i fosfati (P-PO $_4$) ed i solfati (SO $_4$) sono stati rilevati mediante analisi spettrofotometrica UV-Vis [10].

3. Risultati e discussione

3.1 Caratterizzazione fango attivo e inoculo utilizzati per i test in batch

In **Tab.2** sono riportati i risultai ottenuti dalla caratterizzazione chimico-fisica del fango attivo, dell'inoculo e della miscela fango più inoculo utilizzati per la preparazione dei campioni

avviati a digestione anerobica in batch. Tutte le determinazioni sono state eseguite in doppio e in tabella è riportato il valore medio ottenuto.

Parametro	U.M.	Fango attivo (F)	Inoculo (I)	Miscela (F+I)
рН	/	7.1	8.21	7.7
Conducibilità	(mS/cm)	0.99	21.20	6.58
COD	(g/kg)	14.46	77.46	22.54
TS	(g/kg)	12.13	141.23	34.42
VS	(g/kg)	9.21	82.57	20.66
VS/TS	(%)	75.9%	58.5%	60.0%
VFA	(g _{CH3COOH} /kg)	0.65	7.65	2.12
Alk	(g_{CaCO3}/kg)	1.83	24.64	4.62
VFA/Alk	/	0.36	0.31	0.46
N-tot	(g/kg)	0.42	3.48	1.37
N-NH ₄ ⁺	(g/kg)	0.01	1.51	0.28
P-tot	(mg/kg)	109.84	423.92	126.58
P-PO ₄ 3-	(mg/kg)	26.82	215.54	97.54
SO ₄ ² ·	(mg/kg)	0.26	5.83	7.12

Tab. 2. - Composizione chimico-fisica delle singole matrici utilizzate per i test in batch.

Si osserva che il fango attivo è caratterizzato da un pH prossimo alla neutralità, da un elevato valore di sostanza organica e da un contenuto di acidi grassi volatili superiore a 0.5 g_{CHSCOOH}/kg. L'elevata disponibilità di sostanza organica è evidenziata dall'alto valore di solidi volatili che caratterizza la matrice e da un rapporto VS/TS superiore al 75%. Per quanto riguarda l'inoculo, costituito da digestato proveniente da un impianto industriale di digestione anaerobica di FORSU, si osserva un pH alcalino, un contenuto di acidi volatili superiore a 7 g_{CHSCOOH}/kg ed un elevato contenuto di azoto totale.

3.2 Produzioni di metano

Durante i test di digestione anaerobica in batch è stato misurato giornalmente il volume di metano prodotto da ogni singolo campione. Tale misura ha consentito di valutare l'effetto dei materiali conduttivi sulle performance di produzione di metano. In **Fig.1-a** sono riportate le curve di produzione cumulate delle differenti miscele avviate a digestione anaerobica normalizzate rispetto al contenuto in ingresso di solidi volatili. Complessivamente si osserva che l'effetto dei materiali conduttivi sulle performance di produzione risulta poco evidente. In particolare, per il campione costituito solo dalla miscela di fango e inoculo si osserva una produzione normalizzata pari a 279 NmL $_{\text{CH4}}/g_{\text{VSin}}$; mentre per i campioni di miscela contenenti ZVAI e Gph si registrano produzioni normalizzate molto simili e paria a 291e 284 NmL $_{\text{CH4}}/g_{\text{VSin}}$, rispettivamente.

Analizzando, infine le produzioni normalizzate ottenute dal campione in cui è stato aggiunto il ZVMg si osserva una drastica riduzione delle performence. Infatti, i valori di produzioni normalizzate sono di poco superiori a quelli ottenuti per il solo inoculo ed inferiori del 27% rispetto ai risultati ottenuti con ZVAl e Gph. Complessivamente, i test BMP mostrano la difficoltà della digestione anerobica dei fanghi attivi. Le cause delle ridotte performance sono ascrivibili essenzialmente all'elevata presenza di sostanza organica già parzialmente digerita e

la presenza di composti recalcitranti che rallentano il processo. In tal senso, materiali conduttivi quali ZVAl e Gph migliorano solo parzialmente le rese di produzione, mentre altri come il ZVMg la peggiorano in modo considerevole.

I risultati osservabili con le curve di produzione normalizzate risultano maggiormente evidenti considerando le rese specifiche di produzione di metano per unità di COD rimosso (Methane Production Yelds-MPY). In particolare, in **Fig.1-b** sono riportati i valori di MPY determinati al termine dei test di digestione anerobica in batch. Anche in questo caso i valori più elevati sono stati ottenuti dal campione contenete ZVAl. Nello specifico, il valore raggiunto risulta pari a 880 NmL_{CH4}/ $g_{CODrimosso}$. Valori di MPY inferiori di circa il 13% si osservano per la miscela di fango e inoculo e per il campione contenete Gph. Considerando infine il campione contenete ZVMg, il valore di MPY, risulta inferiore del 27% rispetto al campione con ZVAl e del 15% rispetto al campione di fango e inoculo.

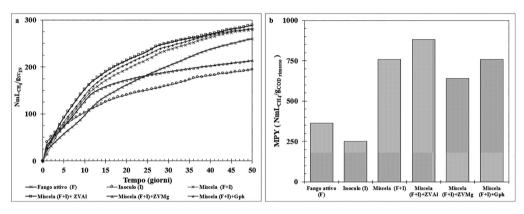


Fig 1 - a) Curve di produzione normalizzate e b) Methane Production Yield (MPY) relativi alle differenti miscele.

3.3 Evoluzione dei parametri di processo dei test di digestione in batch

Tutte le miscele realizzate ed avviate a digestione anerobica in batch sono state caratterizzate dal punto di vista chimico-fisico sia prima dell'avvio dei test che al termine del processo stesso. I risultati ottenuti hanno permesso di indentificare l'evoluzione di alcuni dei parametri principali del processo digestivo. In particolare in Fig.2-a sono riportati i valori delle concentrazioni di acidi grassi volatili (VFA) delle singole miscele. Nello specifico, l'andamento delle riduzioni di acidi volatili tra inizio e termine del processo anerobico risulta in linea con l'andamento delle produzioni di CH, normalizzate, analizzate in precedenza (Fig.1-a). Si osservano, infatti, riduzioni del contenuto di acidi grassi volatili pari al 41% ed al 25% per i campioni con ZVAl e Gph, rispettivamente. Mentre, si osservano, riduzioni di VFA del 12% per il campione con ZVMg e del 10% per il campione costituito solo dal fango e dall'inoculo. In Fig.2-b, invece è riportato il rapporto tra COD e azoto. Tale parametro fornisce un'indicazione della disponibilità di macronutrienti presenti nell'ambiente di reazione. In questo caso si osserva una riduzione del rapporto COD/N compresa tra il 45% e il 50% per i campioni contenti materiali conduttivi tra inizio e fine del processo anaerobico. In particolare, si osservano rapporti COD/N per i campioni contenenti materiali conduttivi in ingresso pari a circa $16~{\rm g_{COD}}/{\rm g_N}$ mentre in uscita i valori si riducono a circa $9~{\rm g_{COD}}/{\rm g_N}$. Nello specifico, per tutti i campioni analizzati il rapporto COD/N risulta ampiamente inferiore, al limite soglia di 50 g_{COD}/g_N. Appare pertanto evidente che il contenuto di azoto non rappresenta un fattore limitante per il processo di digestione anaerobico.

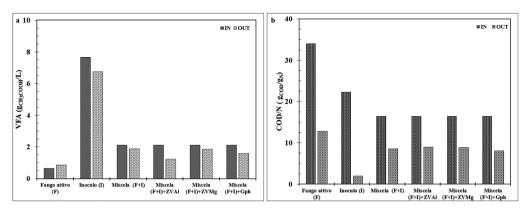


Fig 2 – a) rapporto VFA/alcalinità e b) rapporto COD/N nelle diverse miscele. In Fig.3 sono riportati, infine, i valori iniziali e finali di azoto ammoniacale N-NH₄ (Fig. 3-a) e fosforo reattivo P-PO₄ (Fig. 3-b) delle differenti miscele utilizzate nei test anaerobici.

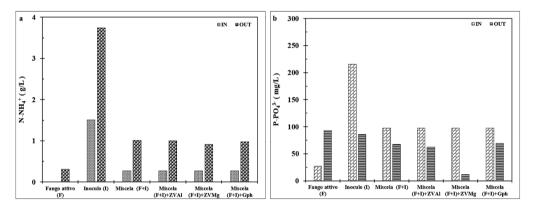


Fig 3 – a) contenuto di N-NH₄ e b) di P-PO₄ nei campioni prima dell'avvio della digestione anerobica ed al termine del processo.

Per quanto riguarda l'azoto ammoniacale (**Fig. 3-a**) del campione relativo all'inoculo si osserva un incremento di N-NH₄⁺ al termine del processo. Nello specifico, si registrano valori finali di N-NH₄⁺ di poco inferiore a 4 g/L. Analizzando invece il comportamento delle miscele contenenti i materiali conduttivi si osservano valori di N-NH₄⁺ maggiori di oltre 2.5 volte il valore di partenza. Tale aspetto è riconducibile alla proteolisi dei fanghi di depurazione durante il processo anaerobico.

Per quanto concerne i fosfati, P-PO₄^{3.} (**Fig.3-b**), si osserva per tutti i campioni una riduzione delle concentrazioni. Tali riduzioni sono riconducibili a fenomeni di precipitazione chimica di sali a base di fosfati in condizioni di pH tipici dei processi di digestione anerobici (pH ≈ 8).

4. Conclusioni

Nel presente lavoro è stata condotta un'indagine sperimentale per valutare la capacità dei materiali conduttivi utilizzabili come additivi per il miglioramento delle performance in digestione anerobica dei fanghi di depurazione urbana. A tal proposito sono stati condotti dei test in batch in condizioni mesofile e per una durata di 50 giorni utilizzando come materiali conduttivi ZVAl, ZVMg e Gph.

L'utilizzo in digestione come additivo dell'alluminio ZVAl e della grafite (Gph) migliora leggermente le produzioni di metano. In tali casi le rese di produzione normalizzate si attestano su valori di 291 $\rm NmL_{CH4}/g_{VSin}$ e 284 $\rm NmL_{CH4}/g_{VSin}$. Tuttavia, gli incrementi risultano essere minimi rispetto alle produzioni ottenute con il campione di solo fango attivo e inoculo con valori di circa 278 $\rm NmL_{CH4}/g_{VSin}$. Il leggero miglioramento registrato per ZVAl e Gph è molto probabile che sia dovuto ad un effetto positivo legato alla DIET. Diversamente dai risultati osservati per ZVAL e Gph, il reattore alimentato con il magnesio zero valente ZVMg ha mostrato delle rese di produzioni sensibilmente inferiori. In questo caso la produzione normalizzata si attesta su valori prossimi a 215 $\rm NmL_{CH4}/g_{VSin}$. Complessivamente i risultati ottenuti suggeriscono il potenziale utilizzo di ZVAl e Gph come materiali conduttivi per il miglioraramento della biodegradabilità anaerobica dei fanghi attivi. Tuttavia, saranno necessari ulteriori studi per verificare l'efficienza di questi materiali, modificando le condizioni operative e in particolare il dosaggio e la modalità di alimentazione del materiale conduttivo.

Bibliografia

- [1] **Pariente, M.I.; Segura, Y.; Molina, R.; Martínez, F.** Wastewater treatment as a process and a resource. Wastewater Treat. Residues Resour. Biorefinery Prod. Biofuels 2020, 19–45.
- [2] Schmidt, J.E.; Christensen, N.; Batstone, D.J.; Trably, E.; Lyberatos, G.; Stamatelatou, K.; Kornaros, M.; Metzger, L.; Amellal, N.; Watson, J.; et al. Safe recycling of sewage sludge on agricultural land—Biowaste. Process. Saf. Environ. Prot. 2006, 84, 253–257.
- [3] Tchobanoglous, G.; Burton, F.L.; Stensel, H.D. Wastewater Engineering. Treatment and Reuse; McGraw-Hill: New York, NY, USA,2002.
- [4] Calabrò, P.S.; Fazzino, F.; Limonti, C.; Siciliano, A. Enhancement of Anaerobic Digestion of Waste-Activated Sludge by Conductive Materials under High Volatile Fatty Acids-to-Alkalinity Ratios. Water 2021, 13, 391.
- [5] Zhang, Q.; Hu, J.; Lee, D.J.; Chang, Y.; Lee, Y.-J. Sludge treatment: Current research trends. Bioresour. Technol. 2017, 243, 1159–1172.
- [6] **Khanal, S.K**. Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2009;ISBN 0813823463
- [7] Wu, Y.; Wang, S.; Liang, D.; Li, N. Conductive materials in anaerobic digestion: From mechanism to application. Bioresour. Technol. 2020, 298, 122403.
- [8] **Dubé, C.-D.; Guiot, S.R**. Direct interspecies electron transfer in anaerobic digestion: A Review. Adv. Biochem. Eng. Biotechnol. 2015, 151, 101–115.
- [9] Baek, G.; Kim, J.; Kim, J.; Lee, C. Role and potential of direct interspecies electron transfer in anaerobic digestion. Energies 2018, 11, 107.
- [10] **APHA**. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edn. American Public Health Association and Water Environment Federation. Washington DC, USA, 199

Fertilizzanti organici ottenuti da differenti processi di trattamento. Effetti al suolo e ruolo nella decarbonizzazione

<u>Silvia Silvestri, silvia.silvestri@fmach.it</u>, Andrea Cristoforetti, Stefano Pedò, Daniela Bertoldi, Daniela Bona – Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige (Trento)

Riassunto

Vengono illustrati i risultati principali di prove sperimentali in frutteto e vigneto, che hanno come oggetto di studio la sostanza organica e la dinamica dei nutrienti dopo applicazione di diversi prodotti organici ottenuti in impianti in scala industriale (compost, digestati, letami maturi, biochar). Vengono inoltre presentate nuove attività sperimentali con finalità agronomiche e agro-ambientali a supporto di processi emergenti per il trattamento delle biomasse, che esitano prodotti di potenziale interesse agronomico (biochar e idrochar). Nel suo insieme il lavoro qui esposto vuole richiamare l'attenzione sull'efficacia dei fertilizzanti organici derivati dal recupero e dal trattamento delle biomasse di scarto e di rifiuto disponibili localmente per la concimazione delle colture, in linea con i principi della bioeconomia circolare e con le strategie europee più recenti.

Summary

The main results of experimental activities in open fields (apple and vineyard crops) are exposed. The object is the study of the organic matter and of the dynamic of nutrients after application of bio-based fertilizers obtained at industrial scale as compost, digestate, mature manure and biochar. Moreover more recently started activities are introduced, dealing with new products (biochar and hydrochar) of agronomic interest, deriving from emerging technologies suitable for the treatment of wet biomasses. The present paper wants to highlight the effective role of biobased fertilizers in replacing mineral fertilizers, full in line with the principles of the biocircular economy and the European strategies.

1. Introduzione

Le matrici organiche di scarto e di rifiuto generate dalle filiere agro-alimentari, dal settore dell'allevamento animale e dalle comunità urbane costituiscono una fonte preziosa di elementi nutritivi e di sostanza organica, utili per il ripristino e il mantenimento della fertilità dei suoli agrari. L'uso di compost e digestato ottenuti da matrici e processi differenti sono pratiche agronomiche ormai consolidate e diffuse, che si affiancano al più tradizionale impiego di letame e liquame. Tuttavia, talvolta si rileva una scarsa consapevolezza da parte del mondo agricolo delle caratteristiche qualitative dei prodotti impiegati, del loro contributo effettivo in termini di apporto al suolo di nutrienti e sostanza organica (SO), tali da permettere la sostituzione, quanto meno parziale, dei fertilizzanti di sintesi. Poca, infine, l'attenzione riservata al grado di stabilità della SO, la principale fonte energetica e di nutrienti dei microrganismi. L'apporto di SO umificata ha effetti benefici sulle caratteristiche fisiche e biologiche del terreno con risvolti positivi sulle colture in atto: è un vero e proprio "motore propulsivo" del terreno, fattore chiave dell'aumento della capacità di scambio cationico e quindi dell'assorbimento degli elementi nutritivi.

Gli studi più recenti con l'uso di tecniche di indagine avanzate consentono oggi di approfondire i meccanismi di interazione dei fertilizzanti bio-based con le particelle del suolo, gli effetti sulla comunità microbica e sulle colture, il ruolo del carbonio nelle sue forme più labili e più stabili, fondamentali per la creazione di una riserva di carbonio (carbon stock).

Da molti anni la Fondazione Edmund Mach (FEM) promuove con i suoi studi, i processi di recupero di biomasse di scarto e di rifiuto di origine agricola, agroindustriale, zootecnica e urbana, idonei per la produzione di ammendanti e fertilizzanti di qualità, utili al mantenimento della fertilità dei suoli e alle esigenze nutrizionali delle colture. Esempi concreti di questi prodotti sono i compost ottenuti dalla frazione organica dei rifiuti urbani, il letame ottenuto da processi di maturazione controllata, il digestato che residua dalla digestione anaerobica degli effluenti zootecnici. A questi si affiancano biochar e idrochar, nuovi prodotti ottenuti da tecnologie emergenti quali la pirogassificazione e la carbonizzazione idrotermica, che si propongono come soluzioni innovative di estremo interesse anche dal punto di vista agronomico, per le loro proprietà ammendanti.

Accanto alla verifica dei processi produttivi in termini di rendimento e di efficienza vengono valutate le caratteristiche agronomiche degli ammendanti anche attraverso prove in pieno campo, specie in frutti-viticoltura. A fronte dell'aumento considerevole dei costi energetici e delle materie prime, con forti ripercussioni anche sul prezzo al dettaglio dei concimi minerali, dei concimi organici e degli ammendanti, va ribadito con ancora più forza che molti elementi fertilizzanti possono (e devono) essere recuperati dalle biomasse di scarto e dai rifiuti organici, per di più a costi vantaggiosi.

2. Relazione

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti da una serie di prove di impiego in frutti-viti-coltura di ammendanti prodotti a livello locale (compost da digestato e letame maturo), con la finalità di determinare le proprietà ammendanti (effetti della SO sul suolo) e concimanti (apporto di elementi nutritivi) di questi prodotti, valutandone allo stesso tempo l'idoneità ad integrare, o sostituire in quota parte, i concimi minerali in uso per la coltivazione di melo e vite. Presso la FEM sono in corso altre prove in pieno campo con finalità analoghe, che prevedono l'impiego della frazione solida del digestato ottenuto dalla digestione anaerobica di reflui zootecnici, e di biochar ottenuto da potature di vite.

Le prove triennali con letame maturo e compost si sono concluse, ed i risultati vengono presentati in queta sede, mentre quelle con digestato e biochar sono tuttora in corso.

Infine, per quanto riguarda gli ammendanti, interessanti prospettive derivano dalle attività di caratterizzazione di prodotti innovativi, come l'hydrochar, attualmente in corso e cui si accenna brevemente.

2.1 Ammendanti e loro caratterizzazione

In Tabella 1 sono riassunte le principali caratteristiche analitiche dei prodotti testati nelle prove agronomiche in viticoltura (V) e frutticoltura (F) (melo).

		ST	рН	CES	TOC	NTK	NNH4	P	K	C/N	IR24
		%		mS/	% ST	% ST	mg/kg	% ST	% ST		mgO2/
				cm							kg SV*h
V	Compost	67.98	8.8	2.8	20.6	1.82		0.33	1.89	11.31	
	Letame	27.06	8.35	1.08	29.8	2.72		1.49	6.26	10.96	
E	Compost	63.38	8.77	2.77	29.4	2.05	284	0.65	1.30	14.54	417.25
F	Letame	26.82	8.8	2.5	41.8	2.36	386	0.90	2.82	17.71	571.75

Tab. 1 – Caratterizzazione di ammendanti impiegati in sperimentazioni in frutti-viticoltura.

Il letame è stato ottenuto da processi di maturazione controllata a carico di deiezioni bovine ricche di paglia da lettiera (almeno 4 kg per capo per giorno), condotti con la tecnica del cumulo rivoltato (7 rivoltamenti meccanici con macchina dedicata in 90 giorni di lavorazione). La maturazione controllata del letame è una tecnica messa a punto dalla FEM, particolarmente adatta per realtà di montagna [1], che consente di migliorare le caratteristiche agronomiche ed ambientali del letame bovino in modo semplice ed economico. Grazie all'accelerazione del processo biologico, in circa tre mesi si ottengono livelli di maturazione paragonabili a quelli che si raggiungono in oltre un anno con la pratica tradizionale del deposito in concimaia e in campo. Tale pratica è contemplata anche dalla normativa della Provincia Autonoma di Trento in tema di effluenti (DGP 2017 dell'11/11/22).

Il compost impiegato proviene dall'impianto di trattamento della FORSU operativo in provincia di Trento (Bioenergia Trentino Srl), che consiste in una prima fase di digestione anaerobica dry in continuo e in condizioni termofile (tempo di residenza circa 21 gg) ed una seconda fase di compostaggio del mix costituito da 50% digestato, 33% di sovvallo e 17% di scarto lignocellulosico. Il processo si articola in una prima fase intensiva in biocelle ed una seconda fase in platea aerata per un totale di circa 25 gg. L'impianto produce circa 14.000 t/anno di compost utilizzato dagli agricoltori locali [2].

Oltre alla caratterizzazione chimica, è stato determinato il grado di stabilità biologica mediante test di fitotossicità con *Lepidium sativum* e test respirometrico dinamico, per verificare la corretta evoluzione dei processi che hanno generato i prodotti. I risultati analitici mostrano una sostanziale assenza di fitotossicità dei prodotti testati a dimostrazione di una completa trasformazione della SO biodegradabile ed una organicazione degli elementi nutritivi presenti in forma minerale (azoto), per effetto del trattamento aerobico. Questi risultati sono confermati anche dai valori dell'indice respirometrico: l'andamento del consumo di ossigeno così come il dato finale, espresso come IR24 (Tab. 1).

2.2 Prove sperimentali di impiego in frutti-viticoltura

Le dosi di impiego adottate sono state normalizzate sul quantitativo di SO apportata tenendo come riferimento quello di una letamazione "classica", ossia circa 50 t/ha di tal quale corrispondenti a circa 7 t/ha di SO (le dosi apportate variano considerevolmente per effetto del differente tenore di sostanza secca). Le prove sono state pianificate con un duplice obiettivo: da un lato valutare gli effetti sulla componente organica del suolo dovuti ad apporti importanti di SO, dall'altro verificare gli effetti nutritivi dei macroelementi in essa contenuti ed apportati in quantità parimenti rilevanti. Ciò partendo da una semplice constatazione: 40 t/ha di letame maturo contengono 200 unità di azoto, ossia circa il triplo del fabbisogno annuale di un ettaro di meleto in produzione. È evidente che, pur avendo come obiettivo degli interventi ammendanti il miglioramento delle caratteristiche fisiche e biologiche del suolo, non si può non far rientrare nei piani di concimazione colturale quantitativi così ingenti di nutrienti. D'altro canto, come detto in premessa, in un momento storico nel quale il costo ma anche la disponibilità stessa di elementi fertilizzanti è soggetta a fluttuazioni molto rilevanti, la disponibilità di fonti alternative di approvvigionamento non può essere trascurata. Ecco allora che impieghi triennali (o biennali) di ammendanti sono stati posti a confronto con utilizzi annuali di concimi organici o minerali valutando gli effetti sulla dinamica di macroelementi nel suolo e nelle piante senza trascurare gli effetti sui parametri vegeto-produttivi (in vigneto).

Sulla base di queste considerazioni, gli ammendanti sono stati distribuiti su impianti in produzione, localizzati lungo i filari (striscia pacciamata di circa 60 cm di larghezza) e senza interramento, che è certamente un limite in ottica effetti della SO nel suolo, ma nulla toglie alla dinamica fertilizzante-terreno-pianta degli elementi nutritivi. D'altronde, in presenza di portinnesti nanizzanti come nel caso del melo è esclusa la possibilità di lavorazioni del terre-

no lungo il filare per il rischio di danneggiare gli apparati radicali, piuttosto superficiali. La distribuzione degli ammendanti è stata effettuata in primavera nelle prove in frutticoltura, in autunno in quelle in viticoltura. L'impiego di prodotti con contenuto di azoto in larga misura organico come il letame maturo ed il compost non dà rischi di perdite dell'elemento per lisciviazione e consente pertanto anche l'impiego autunnale. Le dosi impiegate, per tutte le prove, ammontavano a 20 t/ha di compost e 40 t/ha di letame. Nella Tabella 2 sono riassunte le caratteristiche dei campi prova.

Le prove in pieno campo hanno dato risultati interessanti sia in viticoltura che in frutticoltura [2,3,4]. Per quanto riguarda le prove in viticoltura sono stati considerati gli effetti sullo stato vegetativo e nutrizionale delle piante, la biodiversità (Indice QBS) e la qualità dei mosti.

Prova	Coltura/	Varietà	Sistema di	Sesto di	Concimazione	Concimazione	Sovescio
	anno		allevamento	impianto	minerale	minerale	interfile
	impianto			(cm)	Tesi	Testimone	alterne
MR	Vite	Marzemino	Spalliera	90x200	-	-	х
MT	Vite	Chardonnay	Spalliera	110x200	-	-	х
CA	Vite	Chardonnay	Spalliera	80x200	-	X	х
VO	Vite	Chardonnay	Pergola semplice	90x280	X	X	-
N	Melo 2011	Red Delicious	Spindel	70x320	X	X	-
D1	Melo 2015	Red Delicious	Spindel	75x310	х	х	-
D2	Melo 2015	Red Delicious	Spindel	75x310	X	X	-

Tab- 2 - Caratteristiche dei campi sperimentali scelti per la sperimentazione in viticoltura e frutticoltura.

	P (% s.s.)	K (% s.s.)	Mg (% s.s.)	Fe (mg/kg s.s.)
Controllo	0.176	0.91	0.40	63.0
Compost	0.179	1.13	0.33	67.7
Letame	0.189	1.33	0.30	66.8

Tab. 3 – Concentrazione di fosforo, potassio, magnesio e ferro nelle foglie dopo tre anni di monitoraggio. Tabella modificata da Pedò et al., 2022 [3]

Dall'analisi dei dati ottenuti nei tre anni di sperimentazione è emerso un incremento significativo del contenuto di alcuni elementi nutritivi (fosforo e potassio principalmente) nel suolo [3], mentre non ci sono effetti significativi sulla variazione in termini quantitativi di SO e azoto nelle tesi ammendate a confronto con quelle di controllo. Dalla sperimentazione è comunque emerso anche che le tesi ammendate avevano valori di contenuto fogliare di nutrienti significativamente maggiori rispetto al testimone (Tab. 3), mentre le tesi non ammendate avevano valori di magnesio più alti, a causa della relazione di antagonismo tra questi due cationi (Mg e K) [4].

La dinamica dei nutrienti, in generale, dimostra come l'impiego di ammendanti sia in grado di sopperire alle necessità di concimazione sia per l'apporto di macro che micronutrienti. Per maggiori dettagli si rinvia alle pubblicazioni riportate in bibliografia [3, 4].

Per quanto riguarda le prove in frutticoltura invece, i dati confermano l'effetto dell'apporto di letame maturo sul contenuto di fosforo e potassio, maggiormente evidenti al secondo anno di monitoraggio, mentre il compost ha agito maggiormente sul contenuto di azoto e SO, effetto manifestatosi al terzo anno, a fine monitoraggio. In Figura 1 sono riportati gli andamenti dei nutrienti nei tre anni considerati, durante i quali sono stati fatti prelievi di suolo, sia in primavera che in autunno.

Come descritto in Bona et al. 2022 [2], per pianificare interventi efficaci ed efficienti è necessario prendere in considerazione anche le caratteristiche del suolo di partenza e la storia di quel terreno (concimazioni pregresse, gestione della SO, tipologia di lavorazioni) [2]. Anche in questo caso, i dati raccolti suggeriscono interessanti possibilità di integrazione (e riduzione) dei concimi di sintesi a rapido rilascio, con prodotti organici.

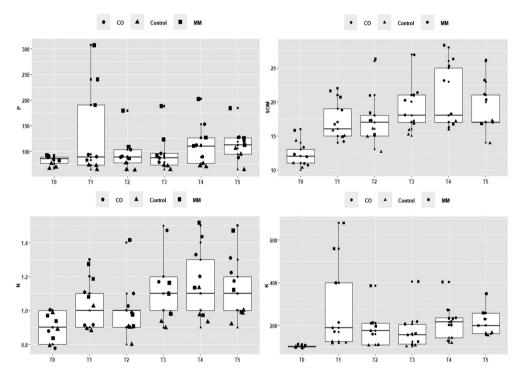


Fig. 1 – Andamento nel tempo dei parametri azoto (N), sostanza organica (SOM), fosforo (P) e potassio (K) degli ammendanti impiegati (CO=compost; MM=letame maturo) a confronto con tesi di controllo (Control). (T0=pre-impiego ammendanti;T1=autunno 1°anno;T2=primavera 2°anno;T3=autunno 2°anno;T4=primavera 3°anno;T5=autunno 3°anno).

A fronte dell'esperienza maturata sono stati allestiti dei campi sperimentali in frutticoltura con l'impiego di digestato (frazione solida ottenuta a valle della digestione anaerobica di reflui zootecnici) e letame maturo per valutare nello specifico le dinamiche dell'azoto minerale durante la stagione vegetativa del melo, oltre alla misura del contenuto di azoto, fosforo e potassio. La sperimentazione è tuttora in corso.

Per quanto riguarda gli effetti sulla SO, le lievi differenze hanno suggerito la necessità di implementare le misure fatte finora con misure di tipo qualitativo. Questo anche in virtù del buon contenuto di SO nei terreni frutticoli e viticoli oggetto delle prove dove, ad esempio, la pratica agronomica del sovescio, può avere mitigato l'effetto ammendante del fertilizzante

organico. Pertanto, una delle attività sperimentali attualmente in corso è la valutazione degli effetti del trattamento sul carbonio organico, tramite identificazione della frazione organica solubile (DOM) e della frazione organica più recalcitrante, tramite estrazione e misura con NMR (in collaborazione con il Dipartimento di Produzione vegetali e agroenergia dell'Università di Milano) e tramite misura del TOC 400 e ROC.

2.3 Nuove attività sperimentali

Accanto ai prodotti di uso comune come il letame bovino maturo ed altri messi a disposizione degli agricoltori in tempi più recenti come compost e digestati, sono oggetto di prove sperimentali anche materiali innovativi. In particolare, il biochar di sarmenti di vite è stato utilizzato recentemente in prove in campo (frutticoltura), a confronto con letame e digestato (Tab. 3). Anche in questo caso, obiettivo specifico del lavoro è quello di valutare l'impatto sul carbonio del suolo, tramite le misure di cui sopra.

Il progetto HYDRORG (co-finanziato dalla Fondazione VRT, Valorizzazione della Ricerca Trentina, Bando Eccellenze 2021) si è occupato dello studio dell'interazione tra ammendanti e SO del suolo, con particolare riferimento all'hydrochar, un materiale ottenuto dal processo termochimico di carbonizzazione idrotermica (Hydrothermal Carbonization), indicato per il trattamento biomasse ad elevato contenuto di umidità, come digestati e fanghi (Tab. 4). Rappresenta lo scarto solido della reazione termochimica (180°C – 250°C) e potrebbe essere un prodotto di interesse per gestire la fertilità dei suoli o lo stoccaggio di carbonio nel suolo. Anche in questo caso si rinvia per un approfondimento alle pubblicazioni riportate in bibliografia [5, 6].

	pН	CES	ST	TOC	N
		mS/cm	% ST	% ST	% ST
Biochar	7.15	0.18	83.33	80.6	0.2
Hydrochar	8.57	0.54	29.30	29.30	2.8

Tab. 4 - Dati di caratterizzazione di hydrochar e biochar utilizzati nelle sperimentazioni in corso [6]

Gli studi condotti oltre a definire le principali caratteristiche agro-ambientali e l'interazione con la sostanza organica del suolo ci permetteranno di raccogliere informazioni non soltanto sugli effetti di ammendamento del terreno e miglioramento della fertilità dei suoli, ma anche sulle effettive possibilità di stoccaggio di carbonio nel suolo, andando quindi a definire il ruolo del suolo nella decarbonizzazione, come possibilità di mitigazione dei cambiamenti climatici in atto.

3. Conclusioni

Dalle sperimentazioni in pieno campo in frutticoltura e viticoltura è emerso con chiarezza che, oltre ai benefici per il suolo dovuti all'apporto di sostanza organica di qualità, i fertilizzanti bio-based rendono disponibili anche quantità rilevanti di elementi nutritivi, proponendosi quindi come validi sostituti dei fertilizzanti di sintesi. In sintonia con gli indirizzi europei della strategia Farm to Fork, con la Mission Board Soil e con i principi della bioeconomia circolare, le attività future riguardano la ricerca di nuovi prodotti ammendanti di qualità, dal punto di vista agronomico e ambientale, lo studio della specifica interazione tra questi la sostanza organica del suolo e la valutazione dell'effetto su macro e microelementi e quindi sulla possibilità di surroga delle concimazioni minerali.

Bibliografia

- [1] Cristoforetti, A., Bertoldi, D., Bona, D., Giovanelli, P., Grandi, L., & Segalla, M. (2022). Prove di maturazione controllata di letami bovini e caprini. L'Informatore Agrario, (20), 47-50.
- [2] Bona, D., Cristoforetti, A., Zanzotti, R., Bertoldi, D., Dellai, N., & Silvestri, S. (2022). Matured Manure and Compost from the Organic Fraction of Solid Waste Digestate Application in Intensive Apple Orchards. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (23), 15512.
- [3] Pedò, S., Bona, D., Cristoforetti, A., Ippolito, M., Porro, D., & Trainotti, D. (2022). Fertilization with different soil types in viticulture: a three-year experience in Trentino Alto Adige. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 44, p. 02010). EDP Sciences.
- [4] Pedo, S., Porro, D., Cristoforetti, A., Bona, D., Ippolito, C., Zanzotti, R., & Trainotti, D. (2020). Letame e compost validi surrogati nella concimazione viticola. *L'Informatore Agrario*, (32), 51-55.
- [5] Bona, D., Bertoldi, D., Borgonovo, G., Mazzini, S., Ravasi, S., Silvestri, S., ... & Tambone, F. (2023). Evaluating the potential of hydrochar as a soil amendment. *Waste Management*, 159, 75-83.
- [6] Bona, D., Lucian, M., Feretti, D., Silvestri, S., Zerbini, I., Merzari, F., ... & Volpe, M. (2023). Phytotoxicity and genotoxicity of agro-industrial digested sludge hydrochar: the role of heavy metals. *Science of The Total Environment*, 871, 162138.

Smart Food Waste Collection in Cascais - Challenging the Portuguese status quo

<u>Luís Capão luis.capao@cascaisambiente.pt</u>, Paulo Leal, Vera Melo – EMAC – Empresa Municipal de Ambiente de Cascais

Summary

Cascais is testing this new approach on food waste management. Basically, people are asked to use the given green bags where the food waste is placed, and then the green bag to be dumped in the collective household street bin, after properly closed with a double knot.

This solution is cost effective because, there is no need to increase the street bins, and consequently, there is no need to increase the frequency or number of collection routes, the main difference will be held on the treatment plant which has to be adjusted and equipped with a bag sorter. This project showed such good results, like a 92% adhesion rate and a 15% food waste sorting rate that gave Cascais Ambiente the confidence to extend this project to every family in Cascais, having now, 42.000 families with this collection scheme.

Riassunto

Cascais sta testando questo nuovo approccio alla gestione dei rifiuti alimentari. In sostanza, si chiede di utilizzare i sacchetti verdi in dotazione dove vengono depositati i rifiuti alimentari, e poi il sacchetto verde da gettare nei contenitori stradali collettivi domestici, dopo averli opportunamente chiusi con doppio nodo.

Questa soluzione è economicamente vantaggiosa perché non è necessario aumentare i contenitori stradali e di conseguenza non è necessario aumentare la frequenza o il numero dei percorsi di raccolta, la differenza principale si ripercuoterà sull'impianto di trattamento che dovrà essere adeguato e dotato di selezionatore di sacchetti.

Questo progetto ha mostrato risultati così buoni, come un tasso di adesione del 92% e un tasso di raccolta differenziata dei rifiuti alimentari del 15%, che hanno dato a Cascais Ambiente la fiducia necessaria per estendere questo progetto a ogni famiglia di Cascais, che ora conta 42.000 famiglie con questo sistema di raccolta.

1. Introduction

In 2018, EMAC collected a total of 90,321t of unsorted waste, and if we apply the assumption conveyed in PERSU2020+ [1] that 39% of urban waste produced corresponds to bio-waste, we will have a collection potential of around 35,000t. If we apply the percentage of 50%, the estimated value of food waste that is currently found in the undifferentiated waste stream characterized in Cascais in 2018, we will have a potential of 45,160t. Considering the results obtained by the System in which the municipality of Cascais is inserted and the goals imposed by PERSU 2020+, it is concluded that there is still a lot of work to be developed, which will require a considerable effort to be carried out by the Municipality of Cascais and its Municipalities – to achieve these ambitious goals. Since, according to the mapping of the "Estudo prévio sobre a implementação da recolha seletiva em Portugal Continental incindindo em especial sobre o fluxo dos biorresíduos" [2], all parishes in the municipality of Cascais were

classified as parishes of greater technical potential. We can therefore infer that the Municipality of Cascais will be eligible for investments in the selective collection of bio-waste, particularly in terms of containerization, vehicles and information and communication technologies, which contribute to the goal of preparation for reuse, as long as they cover all the parishes marked in green. The big issue surrounding the selective collection of bio-waste in the usual model of dedicated containerization, whether in door-to-door schemes or with collective containerization, is that it entails high costs, due to all the associated infrastructure, namely a network of specific containers, transport vehicles, collection and human resources, so it will be interesting to test a solution that presents an effective and efficient solution that does not compromise the municipality financially and environmentally. The European Commission report "Best Environmental Management Practice for the Waste Management Sector", considered the collection of bio-waste through bags as a good practice, as an alternative for the collection of various waste streams, due to public acceptance and involvement with reduced contamination., proving to be an environmentally efficient solution [3]. The adopted project aims to test a less costly system, by providing green bags for storing food waste. Each family must then place their bag of leftover food in the existing undifferentiated waste containers. There are no restrictions in terms of times and days for placing this waste in containers, as collection is done daily and simultaneously (undifferentiated waste and food waste), not compromising the provision of waste collection service (co-collection) [4]. This project is proof of perfect coordination between the SGRU (Tratolixo) and the remaining AMTRES municipalities, as it was also replicated in the form of pilot projects in the municipalities of Mafra, Oeiras and Sintra.

2. Methods

Following the bag solution tested in the Waste4Think project, Cascais Ambiente started in February 2020, a pilot project of the optical bag system for the selective collection of biowaste from domestic producers, with the aim of reducing production and landfilling of undifferentiated waste, by encouraging the separation and recovery of the bio-waste fraction. Currently, the project focuses on an area of the Municipality of Cascais, located in the Union of Parishes of Carcavelos and Parede, corresponding to the area of the undifferentiated collection circuit 170, encompassing an area of 274.5 ha with 1,538 buildings and 5,656 accommodations, where a total of 4,304 families making up a total of 9,927 inhabitants. To explain the project in detail, teams from Cascais Ambiente carry out home visits, where green recycled plastic bags are distributed free of charge to store leftover food, an explanatory leaflet and small brown containers to keep in the kitchen. In these actions, citizens are also made aware of the correct separation of bio-waste and the use of green bags, which must be tightly closed with a double knot and placed, by citizens, in the undifferentiated waste container (grey) on public roads (Fig. 1).



Fig. 1 - Example of the container and bags given to the users

The green bags are collected daily, along with the remaining unsorted waste, and will be sorted in the future using an optical reader, at the Tratolixo waste treatment unit. The bio-waste is subsequently sent to the Anaerobic Digestion Center at Ecoparque da Abrunheira, where it will be subjected to an anaerobic digestion process that creates biogas and digested sludge, thus reducing the amount of waste sent to landfill and increasing the reuse of this resource.

3. Results

The green bags are collected daily, along with the remaining unsorted waste, and will be sorted in the future using an optical reader, at the Tratolixo waste treatment unit. The bio-waste is subsequently sent to the Anaerobic Digestion Center at Ecoparque da Abrunheira, where it will be subjected to an anaerobic digestion process that generates biogas and digested sludge, thus reducing the amount of waste sent to landfill and increasing the reuse of this resource.

3.1 Adhesion to the project

The pilot project aims, through the inclusion of another waste disposal flow, to change the daily habits of almost 10,000 people. After 1 year of implementation and including only the accommodations actually contacted (5,385), the following results were achieved regarding adherent, non-compliant and inactive accommodations:



Fig. 2 - Adhesion, Non-adherence and Inactivity Rate of Accommodations contacted

As reported in Fig. 2 One year after implementing the bio-waste collection system, 91.6% (4,931) of the accommodations contacted by the Cascais Ambiente teams joined the pilot project, 7% (378) of the accommodations decided not to join, while the remaining 1.4% (76) joined, but ended up giving up, for example, by changing their area of residence. Taking into account that the membership process remains open, both for residents and catering establishments, the results achieved will be continuously monitored and reported.

Through the satisfaction survey, in which 2,625 participating citizens participated, 96% indicated that they were satisfied or very satisfied with the pilot project, 94% of the citizens contacted were satisfied with the quality of the green bags, while 93% were satisfied with the bi-monthly delivery of green bags. Regarding the size, only 1.5% of respondents were not satisfied with the size of the bags, with the majority wanting larger bags. In the feedback, the majority of residents surveyed showed interest in knowing better the process of collecting and valuing biowaste. Additionally, feedback from the community involved made it possible to implement concrete actions, such as reducing the number of green bags per roll, which quickly led to improvements in the efficiency of deliveries.

During this pilot, characterization studies were also carried out covering the total sample in accordance with the attached characterization grid, of the contents of the green bags delivered to Tratolixo, where it was possible to calculate the following average values:

- Weight rate of green bags in relation to the total weight of the load: 5.48%
- Biowaste rate in green bags: 77.08% From the characterization results, it was also possible to distinguish the main contaminants, namely:
- Sanitary textiles;
- Diapers;
- PP packaging waste.

4. Conclusions

Given the high level of demand for the goals stipulated in the various management instruments relating to the selective collection of bio-waste, it is essential to implement an operation

that allows the recommended goals to be achieved without compromising the operation already installed and implemented in the municipality. The success of the bio-waste collection model, implemented in this pilot project with green bags, particularly in terms of the high rate of adherence to the project and the quality of the bio-waste, leaves us confident in this commitment and motivated to test this solution in the remaining area of the municipality, and an application for the POSEUR financing program for this same extension was approved. The high rate of adherence to the project, compared to the rate of non-adherence to the project and inactivity, is a clear indicator of the success of this collection model. Through the satisfaction survey, it was possible to ascertain citizens' interest in this collection model and validate more practical issues such as bag quality, frequency and method of bag delivery, as well as appreciation for the extension of this project to the entire municipality. The characterizations carried out on the bag collection loads presented very encouraging values regarding their content, but also showed that we will have to work on issues of maintaining the habit of using green bags and reducing contamination of the collected material, improving the communication and transparency of the project, for example, through the creation of a monthly newsletter and/or regular publications about the progress of the project on the website or social networks.

Bibliography

- [1] APA (jul 2019). PERSU2020+ Reflexão Estratégica e ajustamentos às medidas do PERSU 2020. Agência Portuguesa do Ambiente (pg. 4, 26 e 49)
- [2] Mota M., et all (jul 2019). Estudo prévio sobre a implementação da recolha seletiva em Portugal Continental incindindo em especial sobre o fluxo dos biorresíduos. Agência Portuguesa do Ambiente e Ernst & Young, Audit & Associados SROC, SA (pg. 51)
- [3] Dri, M. Canfora, P. Antonopoulos, I. et Gaudillat, P. (may 2018). Best Environmental Management Practice for the Waste Management Sector. Publications Office of the European Union ISBN 978-92-79-80361-1, doi:10.2760/50247, JRC111059 (pg. 318)
- [4] Pombo R., Ramos J., Martins I. et Lorena A. (jul 2021). Estudo para o desenvolvimento de sistemas de recolha de biorresíduos nos municípios da Tratolixo. 3 drivers. Lisboa

SITES & SOIL MAINTENANCE AND RESTORATION

STRATEGIE SOSTENIBILI PER LA BONIFICA DEI SITI INQUINATI: EVOLUZIONI DELLA RICERCA APPLICATA NAZIONALE E INTERNAZIONALE

I lavori di questa sessione sono specificamente dedicati a tecnologie e strategie di gestione e ottimizzazione della bonifica, con casi studio che ne mettano in luce l'effettiva portata e i loro limiti.

A cura di: Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo & Università di Roma "La Sapienza", UNEM

Presidenti di sessione:

Marco Petrangeli Papini, Università di Roma "La Sapienza" Donatella Giacopetti, Unem Fabio Pascarella, ISPRA

Use of Life Cycle Assessment (LCA) to optimize the development of an innovative remediation technology – The case of ERASE

<u>Gabriele Beretta¹ gabriele.beretta@polimi.it</u>, Elena Sezenna¹, Giovanni Dolci¹, Lucia Rigamonti¹, Sabrina Saponaro¹, Claudio Carnabuci², Daniele Vezzoli² ¹Politecnico di Milano –Dip. Ingegneria Civile e Ambientale, Milano ²HPC Italia srl. Milano

Riassunto

Nell'ambito dell'appalto pre-commerciale Polluted Site Decontamination (POSIDON PCP), è stata sviluppata una tecnologia di bonifica in situ (ERASE – ElectRode-Aided Soil rEmediation), basata sull'integrazione dei meccanismi fisici, chimici e biologici indotti da una corretta alimentazione di almeno una coppia di elettrodi in un mezzo poroso (terreno eterogeneo/materiali di riporto, sia in condizioni sature che insature), affetto da inquinamento organico e/o inorganico. Le attività di ricerca sono state avviate dal proof of concept in laboratorio per arrivare ai test in campo in due diversi siti pilota.

È stata condotta una valutazione del ciclo di vita (LCA) secondo gli standard ISO 14040 e 14044. La valutazione si è basata sulle attrezzature dell'impianto pilota e sui dati di processo in ciascun sito. Con riferimento alle sedici categorie d'impatto considerate, "Produzione, installazione, smantellamento e fine vita degli elettrodi", "Produzione e uso di prodotti chimici" e "Consumo di elettricità" sono risultati gli elementi chiave dell'impatto della tecnologia.

Summary

For the Polluted Site Decontamination pre-commercial procurement (POSIDON PCP), an in situ remediation technique (ERASE – ElectRode-Aided Soil rEmediation) was developed, based on the integration of physical, chemical, and biological mechanisms induced by proper powering at least a couple of electrodes into a porous medium (heterogeneous soil/back-filling materials, either under unsaturated or saturated conditions), affected by organic and/or inorganic pollution. The research activities started from the lab proof of concept to reach field testing at two different pilot sites.

A Life Cycle Assessment (LCA) was performed according to the ISO 14040 and 14044 standards. The assessment was based on the pilot plant equipment and operating data at each site. With reference to the sixteen impact categories considered, "Production, installation, decommissioning, and end-of-life of electrodes", "Production and use of chemicals", and "Electricity consumption" resulted the key elements to the impact of the technology.

1. Introduzione

L'obiettivo principale della bonifica del suolo e delle acque sotterranee è abbattere la contaminazione e ridurre/controllare efficacemente il rischio da essa derivante. È tuttavia fonda-

mentale considerare i potenziali impatti ambientali che possono derivare dalle stesse attività di bonifica per massimizzare i benefici complessivi dell'intervento.

Per l'appalto pre-commerciale Polluted Site Decontamination (POSIDON PCP), HPC Italia srl e Politecnico di Milano – DICA hanno sviluppato una tecnica di bonifica in situ (ERASE – ElectRode-Aided Soil rEmediation), basata sull'integrazione e sullo sfruttamento simultaneo di meccanismi fisici, chimici e biologici indotti da una corretta alimentazione di almeno una coppia di elettrodi installati in un mezzo poroso (terreno eterogeneo/materiali di riporto. in condizioni sature o insature), contaminato da inquinanti organici e/o inorganici. I campi elettrici generati con alimentazione in corrente continua (DC) promuovono i meccanismi elettrocinetici (elettromigrazione, elettroosmosi ed elettroforesi), inducendo il trasporto di massa verso il catodo o l'anodo, con il vantaggio di favorire la distribuzione di qualsiasi sostanza chimica iniettata (ossidanti/riducenti, substrati, nutrienti, ecc.) per supportare la degradazione di inquinanti organici e/o il recupero di inquinanti inorganici. L'alimentazione in corrente alternata (AC) favorisce il riscaldamento del suolo per effetto Joule fino a 35° - 40° C, utile per aumentare la velocità di degradazione biologica e/o chimica degli inquinanti organici e per l'attivazione termica del persolfato, sostanza chimica in grado di ossidare molti composti organici. In prossimità degli elettrodi si verificano anche reazioni elettrochimiche, quali a) elettrossidazione/riduzione di inquinanti, causata dalla produzione di perossido di idrogeno (H₂O₂) o di radicali liberi ad alta energia (O₂ o OH); b) l'idrolisi dell'acqua, che modifica il pH e può aumentare la disponibilità di ossigeno o idrogeno, favorendo rispettivamente la biodegradazione aerobica o anaerobica. [1]

L'attività sperimentale condotta ha avuto inizio da test a scala di laboratorio, per arrivare fino alla progettazione ed esecuzione di test pilota di campo presso due siti storicamente inquinati (Trieste – IT e Bilbao – ES), dove il terreno insaturo è interessato da contaminazione da idrocarburi petroliferi totali ad alto peso molecolare, idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e metalli pesanti (arsenico, piombo, zinco, rame). È stata inoltre eseguita una valutazione del ciclo di vita (LCA) della tecnologia proposta, oggetto di questo articolo, per identificare gli aspetti responsabili dei maggiori impatti ambientali e guidare gli sforzi futuri nel miglioramento della tecnologia nella direzione della sostenibilità.

2. Panoramica dei test pilota

Gli impianti pilota utilizzati erano composti da un'unità elettrica, un'unità idraulica e un'unità di monitoraggio. L'unità elettrica comprendeva alcune coppie di elettrodi installati nel terreno insaturo e un sistema di alimentazione per alimentare correttamente gli elettrodi in modalità DC o AC. Il gruppo idraulico comprendeva un sistema di iniezione (pozzi di immissione-IW e/o dreni orizzontali, e un'unità di iniezione per il dosaggio di acqua e prodotti chimici), e un sistema di estrazione (pozzi di estrazione-EW e un'unità di estrazione per la rimozione delle acque interstiziali). L'unità di monitoraggio comprendeva dispositivi di monitoraggio dei valori dei parametri elettrici (intensità di corrente, tensione, potenza), punti di monitoraggio nel mezzo poroso insaturo (termocoppie, lisimetri, tensiometri, sonde per i gas interstiziali) e punti di monitoraggio del mezzo poroso saturo (termocoppie, piezometri). Ogni elettrodo è stato installato in un foro di perforazione, dove lo spazio vuoto tra l'elettrodo e il terreno è stato riempito con un materiale granulare opportunamente selezionato. La distanza tra ciascuna coppia di elettrodi era di 3 m.

La strategia della sperimentazione in campo per entrambi i siti è stata articolata secondo le seguenti fasi: a) installazione dell'impianto, verifiche preliminari e messa a punto; b) funzionamento DC e dosaggio del persolfato, per favorire meccanismi di trasporto elettrocinetico degli inquinanti inorganici e per la distribuzione dell'ossidante; c) funzionamento in AC per riscaldare il terreno fino a 30°C-40°C e attivare termicamente l'ossidante.

Per tutta la durata del test (circa 6 mesi) è stato svolto un programma di monitoraggio in ciascun sito, comprendente: a) caratterizzazione al tempo zero (baseline per terreno e acque sotterranee); b) monitoraggio intermedio (monitoraggio continuo del gradiente di tensione applicato, delle correnti circolanti, delle temperature del terreno; monitoraggio periodico delle acque interstiziali, dei gas interstiziali e delle acque sotterranee); c) caratterizzazione finale (campionamento e analisi del terreno e delle acque sotterranee durante la dismissione dell'impianto).

La Tab. 1 sintetizza i principali dati sito-specifici per i test pilota di Trieste e Bilbao, riferiti all'intera durata del test (circa sei mesi).

3. LCA

3.1 Metodo

La LCA è stata eseguita secondo gli standard ISO 14040 e 14044. [2, 3]

Tra gli indicatori di impatto inclusi nel metodo Environmental Footprint 2.0 [4], sono state valutate sedici categorie di impatto sull'ambiente e sulla salute umana (Cambiamento climatico – CC; Assottigliamento dello strato d'ozono – OD; Radiazioni ionizzanti, salute umana – IR; Formazione fotochimica di ozono – POF; Particolato / Inorganici via inalazione – RI; Tossicità umana, effetti non cancerogeni – HTNC; Tossicità umana, effetti cancerogeni – HTC; Acidificazione – A; Eutrofizzazione acqua dolce – EAF; Eutrofizzazione acqua marina – EAM; Eutrofizzazione terrestre – ET; Ecotossicità acqua dolce – EF; Uso del suolo – LU; Uso dell'acqua – WU; Uso delle risorse, vettori energetici – RUE; Uso delle risorse, minerali e metalli – RUM).

L'unità funzionale è stata definita come il test pilota in ciascun sito, comprendente le attività preliminari, le attività di esercizio e il decommissioning. Pertanto, le stime si sono basate sul volume di terreno trattato durante le prove in campo (240 m³ o 4,78 E+05 kg a Trieste, 72 m³ o 1,42 E+05 kg a Bilbao) e sui dati di attrezzatura e funzionamento dell'impianto (consumo energetico, uso di prodotti chimici, rifiuti generati, ecc.) in ogni sito.

La modellazione è stata eseguita con il supporto del database ecoinvent (versione 3.8) e del software SimaPro (versione 9.3), considerando il contesto europeo. Per la produzione dell'energia elettrica utilizzata sono stati invece considerati i mix italiano e spagnolo rispettivamente per Trieste e per Bilbao. [5] I principali dati di inventario considerati nella modellazione sono riportati in Tab. 1 per entrambi i siti.

ATTIVITÀ PRELIMINARI

A | Installazione degli elettrodi

- Perforazione: $\overline{32}$ perforazioni, dimensione \emptyset 76 mm e profondità della perforazione 3 m (1 m), materiale per il riempimento della perforazione (70% sabbia silicea e 30% caolino), terreno estratto a discarica.
- Elettrodi: 32 realizzati in titanio, dimensione 25 mm, lunghezza 3 m (1 m).

Diesel per l'escavazione: 1,63 kg/m³ suolo*. Trasporto stradale del terreno estratto a discarica per 75 km*

Densità*: terreno: 1990 kg/m³ (1970 kg/m³); sabbia silicea: 1,75 g/cm³; caolino: 2,6 g/cm³; titanio: 4,5 g/cm³

Segue

ATTIVITÀ PRELIMINARI

B | Installazione dei pozzi di iniezione (IW)/estrazione (EW)

- IW Perforazione: 10 (13), Ø 178 mm; 2 m (1 m), riempimento (ghiaia fino a 30 cm dalla superficie, sigillato con bentonite in superficie), terreno estratto a discarica.
- Tubazione fenestrata: PVC, Ø 100 mm, lunghezza 2 m (1 m).
- EW Perforazione: 19 (21), \emptyset 178 mm; 3 m (1 m), riempimento (ghiaia fino a 30 cm dalla superficie, sigillato con bentonite in superficie), terreno estratto a discarica.
- Tubazione fenestrata: PVC, Ø 100 mm, lunghezza 3 m (1 m).

Densità*: sabbia silicea: 1,5 g/cm³; bentonite: 2,6 g/cm³. Peso della tubazione in PVC – 100 mm: 3.13 kg/m

C Installazione dei punti di monitoraggio dell'insaturo: lisimetri (LYS)/sonde gas interstiziali (SGS)

- LYS Perforazione: 18 (20), \varnothing 76 mm; 1,5 m (1 m), riempimento (sabbia silicea), terreno estratto a discarica.
- Lisimetri: PVC, \varnothing 25 mm, 1,5 m (1 m).
- SGS Perforazione: 3, \varnothing 76 mm; 1,5 m (0,7 m), riempimento (ghiaia fino a 30 cm dalla superficie, sigillato con bentonite in superficie), terreno estratto a discarica.
- Sonde nesty probes: PVC, Ø 13 mm, 0,3 m.

Peso della tubazione in PVC - 25 mm: 0,94 kg/m; 13 mm: 0,49 kg/m

D | Installazione dei punti di monitoraggio del saturo

- Perforazione: 3 (6), \emptyset 178 mm; 10 m (6 m), riempimento (ghiaia fino a 30 cm dalla superficie, sigillato con bentonite in superficie), terreno estratto a discarica.
- Tubazione fenestrata: PVC \varnothing 100 mm, 10 m (6 m).

Peso della tubazione in PVC – 100 mm: 3,45 kg/m

E | Installazione dell'impianto pilota (1)

Tubazioni per la connessione dei pozzi di iniezione/estrazione. Tubazioni: HDPE, A − Ø 13 mm, 300 m + B − dimensione 9*12, 500 m.

Peso della tubazione in HDPE A: 0,28 kg/m; B: 0,048 kg/m

F | Installazione dell'impianto pilota (2) – solo per Trieste

Tubazioni per il drenaggio orizzontale. Escavazione meccanica.

Tubazione: PVC, Ø 50 mm, 50 m, scavo coperto con il terreno rimosso (sezione 100 mm×100 mm).

FASE DI ESERCIZIO

- G Consumi di energia elettrica per elettrodi, pompe, ecc. Energia da rete: 2493 kWh (2070 kWh).
- H | Consumo di acqua: 60 m^3 (10 m^3), acqua di rete.
- I Dosaggio di reagenti: persolfato di sodio, 12,5 kg/m³ di terreno trattato; terreno trattato: 240 m³ (72 m³).

Segue

DE	<u>ECOMMISSIONING</u>
L	Campionamento finale del terreno Perforazione: 15, \varnothing 152 mm, 3 m (1 m), riempimento (bentonite), terreno estratto a discarica.
A	Decommissioning degli elettrodi Installazioni rimosse meccanicamente (perforazione modellata come per la fase di installazione), perforazioni chiuse con malta cementizia, materiale estratto a discarica. Smaltimento in discarica degli elettrodi.
	Densità*; malta cementizia: 2,1 g/cm³
В	Decommissioning dei pozzi di iniezione (IW)/estrazione (EW) Iniezione di malta cementizia in tutti i pozzi
С	Decommissioning dei punti di monitoraggio dell'insaturo: lisimetri (LYS)/sonde gas interstiziali (SGS) • LYS – rimozione meccanica, riempimento con malta, materiale estratto a discarica. • Smaltimento lisimetri.
	• SGS – rimozione meccanica, riempimento con malta, materiale estratto a discarica. • Smaltimento sonde nesty.
D	Decommissioning dei punti di monitoraggio del saturo Iniezione di malta cementizia in tutti i pozzi.
E	Decommissioning dell'impianto di bonifica(1) Trattamento a fine vita delle tubazioni usate per le connessioni dei pozzi di iniezione/estrazione.
F	Decommissioning dell'impianto di bonifica (2) – solo per Trieste Trattamento a fine vita delle tubazioni usate per i dreni orizzontali.

Tab. 1 – Dati di inventario e assunzioni considerati nella modellazione dei test pilota di Trieste e Bilbao (dati per entrambi i siti; le variazioni per Bilbao sono indicate in corsivo). * per tutte le fasi

3.2 Risultati

Le Fig. 1 e 2 mostrano il contributo a ciascuna categoria di impatto di ciascuna fase del test pilota a Trieste e Bilbao, rispettivamente.

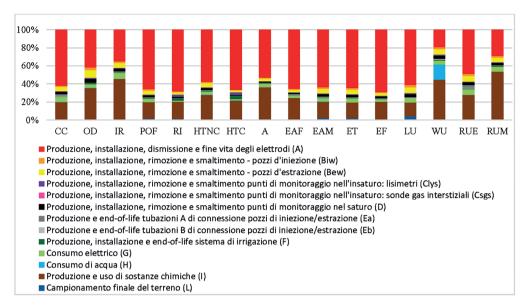


Fig. 1 – Contributi agli impatti potenziali per ogni Fase (vedi Tab. 1) del test pilota a Trieste per ogni categoria di impatto.

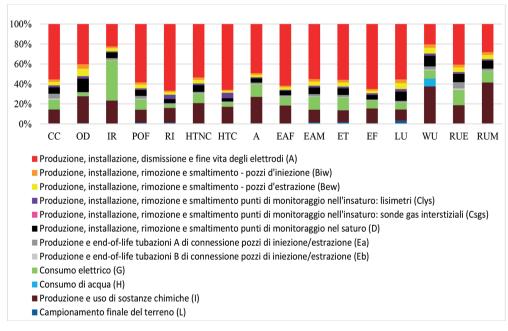


Fig. 2 – Contributi agli impatti potenziali per ogni Fase (vedi Tab. 1) del test pilota a Bilbao per ogni categoria di impatto.

A Trieste il contributo più rilevante è quello relativo alla "Produzione, installazione, dismissione e fine vita degli elettrodi" (Fase A), con contributi compresi tra il 19% e il 68% per tutte le categorie di impatto, escluse IR, WU e RUM, per le quali l'impatto potenziale più elevato è

associato alla "Produzione e uso di sostanze chimiche" (Fase I). L'impatto della Fase I è rilevante anche per le altre categorie di impatto, con contributi fino a circa il 30%. Il "Consumo di acqua" (Fase H) è rilevante per la categoria di impatto WU (17%).

Per Bilbao l'impatto più rilevante è quello relativo alla "Produzione, installazione, dismissione e fine vita degli elettrodi" (Fase A), con contributi compresi tra il 20% e il 67% per tutte le categorie di impatto, escluse IR, per cui il contributo della "Produzione di energia elettrica" (Fase G) è stato il più rilevante (40%), WU e RUM, per cui il potenziale impatto della "Produzione e uso di sostanze chimiche" (Fase I) è rispettivamente del 37% e del 41%. L'impatto della Fase I è rilevante anche per le altre categorie di impatto, con un contributo compreso tra l'11% e il 27%.

Per la Fase A, la quasi totalità dei potenziali impatti è associata alla produzione dell'elettrodo in titanio (>94% per tutte le categorie di impatto), in entrambi i siti.

La Tab. 2 riporta i potenziali impatti per i test pilota a Trieste e Bilbao.

In caso di aumento del consumo elettrico legato a un'alimentazione DC o CA a maggior intensità, il "Consumo di elettricità" (Fase G) può diventare l'onere più rilevante (dati non mostrati). Pertanto, il consumo di elettricità è un aspetto chiave della tecnologia e richiede condizioni operative ottimali (intensità di corrente o di campo elettrico, ore di funzionamento, prevenzione di perdite di energia, ecc.). Un certo vantaggio potrebbe derivare anche dall'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

Per quanto riguarda la categoria WU, per i test pilota non è stata installata un'unità di trattamento in loco, viste le incertezze sugli effettivi volumi estratti e da trattare e l'uso temporaneo dell'impianto pilota, ma in future applicazioni a piena scala un impianto a tal fine potrebbe essere facilmente integrato. Si potrebbero ottenere miglioramenti anche nella categoria RUM, riutilizzando alcuni materiali o parti dell'attrezzatura dell'impianto.

Categoria d'impatto	Unità di misura	Trieste	Bilbao
Cambiamento climatico – CC	kg CO ₂ eq	1,73E+04	7,24E+03
Assottigliamento dello strato d'ozono – OD	kg CFC11 eq	3,14E-03	1,22E-03
Radiazioni ionizzanti, salute umana – IR	kBq U-235 eq	2,04E+03	1,20E+03
Formazione fotochimica di ozono – POF	kg NMVOC eq	5,99E+01	2,54E+01
Particolato / Inorganici via inalazione – RI	Incidenza malattie	1,43E-03	5,48E-04
Tossicità umana, effetti non cancerogeni – HTNC	CTUh	2,80E-04	1,13E-04
Tossicità umana, effetti cancerogeni – HTC	CTUh	2,38E-05	9,01E-06
Acidificazione – A	mol H⁺ eq	1,21E+02	4,90E+01
Eutrofizzazione acqua dolce – EAF	kg P eq	7,95E+00	3,16E+00
Eutrofizzazione acqua marina – EAM	kg N eq	1,70E+01	7,39E+00
Eutrofizzazione terrestre – ET	mol N eq	1,75E+02	7,61E+01
Ecotossicità acqua dolce – EF	CTUe	3,88E+05	1,55E+05
Uso del suolo – LU	Pt	9,63E+04	4,00E+04
Uso dell'acqua – WU	m³ depriv.	1,54E+04	5,50E+03
Uso delle risorse, vettori energetici – RUE	MJ	2,32E+05	1,05E+05
Uso delle risorse, minerali e metalli – RUM	kg Sb eq	1,66E-01	6,45E-02

Tab. 2 – Impatti potenziali per i test su scala pilota a Trieste e Bilbao.

4. Conclusioni

La LCA ha permesso di identificare gli elementi da migliorare per ridurre gli impatti ambientali e aumentare la sostenibilità ambientale della tecnologia ERASE. In dettaglio, "Produzione, installazione, dismissione e fine vita degli elettrodi", "Produzione e uso di prodotti chimici" e "Consumo di energia elettrica" possono essere considerati gli elementi chiave dell'impatto della tecnologia. Confrontando diverse configurazioni impiantistiche e condizioni operative, possono scaturire suggerimenti utili, ad esempio, per la scelta del materiale degli elettrodi, della fonte di energia elettrica (es. fonti rinnovabili) e delle condizioni di lavoro.

Questo lavoro rientra nel progetto POSIDON, che ha ricevuto finanziamenti dal programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell'Unione Europea (nell'ambito della convenzione N. 776838). Esso riflette solo le opinioni degli autori.

Bibliografia

- [1] **Beretta G., Mastorgio A.F., Pedrali L., Saponaro S., and Sezenna E.**, *The effects of electric, magnetic and electromagnetic fields on microorganisms in the perspective of bioremediation.* REVIEWS IN ENVIRONMENTAL SCIENCE AND BIO/TECHNOLOGY, 2019, 18, 29-75
- [2] **ISO 14040:2006**, Environmental management Life cycle assessment Principles and framework. ISO 14044:2006 + Amd1:2017 + Amd2:2020
- [3] **ISO 14044:2006**, Environmental management Life cycle assessment Requirements and guidelines. ISO 14040:2006 + Amd1:2020
- [4] Fazio S., Castellani V., Sala S., Schau E.M., Secchi M., and Zampori L., Supporting information to the characterization factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods. EUR 28888 EN, European Commission, Ispra, 2018, ISBN 978-92-79-76742-5, JRC109369
- [5] **Ecoinvent centre**, *Ecoinvent Version 3.8 database*, 2021. http://www.ecoinvent.org/

Bonifica di siti inquinati da metalli e idrocarburi: un approccio didattico per la ricerca di metodi sostenibili di decontaminazione

<u>Francesca Realini francesca.realini@cobianchi.it</u>, Angelo Gulotta – I.I.S. "L. Cobianchi", Verbania

Riassunto

Per sensibilizzare i giovani sulle tematiche della tutela e del risanamento ambientale, è stato sviluppato un progetto didattico di ricerca, finalizzato a trovare strategie alternative per la bonifica di siti contaminati. Posti di fronte a un caso reale, un sito del territorio contaminato da idrocarburi, è stato chiesto agli studenti di sviluppare un metodo immediato, economico, versatile e a basso impatto ambientale per la rimozione di inquinanti da suolo e acque. È stato così ottenuto un carbonio attivo mediante incenerimento di strobili di pini (pigne) e trattamento con KOH, caratterizzato completamente mediante SEM. Il carbonio prodotto è stato in grado di rimuovere più del 70% di idrocarburi nel suolo e quasi il 100% di metalli pesanti presenti nel suolo, in fanghi di depurazione e in acque contaminate. Infine, gli studenti hanno proposto come usarlo e separarlo dal suolo dopo il suo ciclo di azione. Mediante una didattica laboratoriale e progettuale, si sono stimolati lo sviluppo e la validazione di tecniche di bonifica a basso costo tramite un esempio concreto di tutela e sostenibilità ambientale, con sviluppo di competenze tecnico-scientifiche tali da promuovere la cultura della sostenibilità nelle generazioni

Summary

In recent years, environmental problems have become a serious issue worldwide, due to the increasing damage caused by climate change. Thus, it's important to raise awareness among young people and drive them to engage in sustainable development issues, particularly environmental and climate issues. The research project described in this paper was developed to explore alternative strategies for the remediation of contaminated sites. The students were asked to develop smart, economical, versatile and low environmental impact method to remove polluntants such as hydrocarbons and heavy metals from contaminated soil and water. They obtained an activated carbon through carbonization of pine cones and treatment with KOH and they fully characterized it using SEM. The activated carbon, very versatile, removed more than 70% of the hydrocarbons in the soil, as well as almost 100% of heavy metals, both in soil and in contaminated waters. Finally, they proposed how to use it and how to separate it from the soil. Through laboratory and project-based teaching, the development and validation of low-cost remediation techniques were achieved. This consitutes a concrete example of "bottom-up" environmental protection, with the development of technical-scientific skills capable of promoting the culture of sustainability in future generations.

1. Introduzione

Le tematiche della tutela e del risanamento ambientale sono da alcuni anni al centro dell'attenzione anche nei processi educativi e di formazione. Infatti, come sottolinea il Ministero della Ricerca e del Merito, «la scuola è il luogo di elezione per attivare progetti educativi sull'ambiente, la sostenibilità, il patrimonio culturale, la cittadinanza globale» [1]. È tramite l'educazione all'ambiente e alla sostenibilità che la scuola può favorire il lavoro dei giovani in direzione dei 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals), previsti dall'Agenda 2030, definiti dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per un futuro migliore e più sostenibile per tutti. In termini di istruzione, ad esempio, uno degli scopi è quello di raggiungere il target 4.7 che mira a fornire agli studenti conoscenze e competenze necessarie per la promozione dello sviluppo sostenibile.

Per promuovere tale consapevolezza sui temi citati sono fondamentali progetti finalizzati, ad esempio, alla protezione dell'ambiente. Tra gli obiettivi dell'Agenda 2030, ve ne sono infatti alcuni relativi alla salvaguardia degli ecosistemi, sia acquatici che terrestri.

Un suolo sano è fondamentale per la salute dell'uomo, per coltivare raccolti e fornire cibo, per supportare diversi ecosistemi, per immagazzinare acqua e prevenire inondazioni, per catturare il carbonio e rallentare il cambiamento climatico globale. Di conseguenza, l'inquinamento del suolo è una minaccia grave e crescente per gli esseri viventi. Gli inquinanti del suolo (metalli pesanti, sostanze chimiche organiche come pesticidi, particelle di micro/nanoplastiche) si riversano nei fiumi provocando l'inquinamento delle acque.

L'inquinamento dell'aria, dell'acqua e del suolo è responsabile di almeno 9 milioni di morti ogni anno [2]. Riconoscendo l'importanza dell'inquinamento per la salute umana, la Commissione Europea e il "Piano d'azione dell'UE per il 2050: Un pianeta sano per tutti" hanno stabilito che l'inquinamento dell'aria, dell'acqua e del suolo deve essere ridotto a livelli che non causino danni alla salute umana o all'ecosistema. Per raggiungere tale obiettivo è necessario creare un ambiente privo di sostanze inquinanti, evitando di generarne e trovando possibili soluzioni per bonificare aree già contaminate.

Tramite una didattica progettuale e laboratoriale, come quella qui proposta, è quindi possibile mirare a formare nuovi cittadini con una solida consapevolezza in termini di sostenibilità ambientale e con le opportune competenze tecnico-scientifiche per proporre diverse soluzioni per la tutela dell'ambiente.

2. Relazione

Il lavoro descritto è stato sviluppato nell'ambito del progetto *C-apture* all'interno dei laboratori di chimica dell'I.I.S. "L. Cobianchi" di Verbania da alcuni studenti dell'indirizzo Chimica, Materiali e Biotecnologie articolazione *Chimica e Materiali*. Partendo da un caso reale di sito contaminato da idrocarburi, gli studenti hanno messo a punto un metodo immediato, economico, a basso impatto ambientale e versatile nei confronti di diversi inquinanti, di sostegno alle già note e diffuse tecniche di decontaminazione. Sfruttando le note capacità adsorbenti del carbone nei confronti di specie chimiche ben diverse tra loro [3], si è quindi cercato di sviluppare un metodo per prepararlo, che non danneggiasse ulteriormente l'ambiente e fosse applicabile senza eccessivi mezzi e costi. Una volta ottenuto tale materiale, è stato caratterizzato e ne sono state studiate le diverse proprietà.

2.1 Produzione e caratterizzazione di carbone di origine vegetale

2.1.1 Produzione del carbone

Il carbone si è ottenuto per incenerimento di biomassa, in particolare incenerimento di strobili di pini (pigne) caduti dagli alberi, particolarmente infiammabili per la resina presente. Le pigne sono state lasciate essiccare in stufa a 105°C per circa 10 ore, con lo scopo di eliminare la maggior parte dell'umidità naturalmente presente. Quindi si è proceduto con la vera e propria preparazione del carbone adsorbente, realizzata mediante frantumazione della biomassa e successiva combustione, mediante un processo analogo a quello sperimentato con altre fonti vegetali [4].

Nella prima fase, una quantità pesata di pigne è stata frantumata manualmente in pezzi grossolani delle dimensioni di qualche centimetro e successivamente macinata con l'ausilio di un frullatore da laboratorio. La polvere ottenuta è stata trasferita in una capsula di porcellana coperta da vetro di orologio, per evitare contaminazioni esterne.

Non potendo eseguire delle pirolisi perfettamente anaerobiche, sotto atmosfera inerte di azoto, abbiamo elaborato due differenti metodi di combustione della polvere di pigne: sia utilizzando la muffola da laboratorio, sia mediante becco Bunsen, costruendo un piccolo ma efficace sistema per la raccolta della CO₂ prodotta. In entrambi i casi sono stati bruciati circa 50g di polvere di pigne: nel primo caso inseriti in muffola a 400°C per circa 15 minuti in una capsula di porcellana coperta, nel secondo caso posizionando la capsula su un treppiede con reticella refrattaria sopra la fiamma del bruciatore Bunsen. Il primo metodo ha portato ad un'eccessiva liberazione di fumi nell'ambiente, pur generando un carbone dal colore nero intenso e biooils condensati sulla capsula superiore, a conferma di un processo in carenza di ossigeno.

Con il secondo metodo, il problema dell'emissione di fumi è stato evitato, pur limitando le condizioni di anaerobicità.

Durante la combustione della polvere, i suoi fumi sono infatti stati convogliati, mediante la depressione generata da una pompa ad acqua, all'interno di un imbuto collegato da un tubo di gomma ad una beuta codata, contente una soluzione satura di idrossido di bario Ba(OH)₂. L'anidride carbonica ha reagito con l'idrossido formando un precipitato di carbonato di bario BaCO₃ secondo la reazione: Ba(OH)_{2 (aq)} + CO_{2 (g)} BaCO_{3(s)} + H₂O. La CO₂ che non ha avuto modo di precipitare è stata convogliata in un'ulteriore beuta codata ("polmone"), contenente la stessa soluzione satura di idrossido di bario, al fine di permetterne la completa precipitazione. Il processo è stato interrotto una volta ottenuto un materiale di colore nero simile al carbone naturale. Mediante combustione in muffola si è ottenuta una resa di carbone del 64%, mentre tramite pirolisi con bruciatore Bunsen la resa è stata di circa il 31%. Nonostante la resa inferiore, si è prodotto ulteriore carbone soltanto con il secondo metodo, per evitare emissione di fumi. Solo il carbone così ottenuto è stato poi attivato con i diversi attivanti.

2.1.2 Attivazione del carbone

Il carbone ottenuto è stato attivato e lavato, al fine di rimuovere tutte le sostanze organiche rimaste intrappolate nei pori deputati all'adsorbimento. Si è proceduto all'attivazione di tipo chimico, provando ad attivare il carbone mediante tre differenti sostanze: acido fosforico 1M, idrossido di potassio 4M e cloruro di zinco 1%m/V.

Una quantità pesata di carbone è stata lasciata in agitazione per circa 1,5-2 ore a 70/80°C con un volume di soluzione contenente l'agente attivante, nei seguenti rapporti di volume di attivante/massa di carbone:

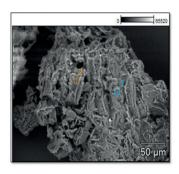
- per l'attivazione con H₂PO₂: 40 mL/g.
- Per l'attivazione con KOH: 14 mL/g.
- Per l'attivazione con ZnCl₂: 10 mL/g.

I becher sono stati poi lasciati per circa 20 ore in stufa a 110°C, per far evaporare tutta l'acqua presente e completare così il processo di attivazione chimica, dopodiché i campioni di carbone attivato sono stati lavati con acqua distillata per eliminare i residui di agente attivante su un sistema di setacci sovrapposti aventi luci con dimensioni di 125, 90 e 45 μm, al fine di non perdere nemmeno le particelle più piccole. I campioni di carbone attivati con l'acido e la base sono stati lavati fino a pH delle acque di lavaggio rispettivamente compreso tra 6/7 e 7/8,

verificato con l'ausilio di una cartina al tornasole; l'eliminazione del cloruro di zinco è stata verificata tramite un saggio qualitativo con nitrato d'argento. Alcuni test preliminari hanno dimostrato che il carbone attivato con KOH mostrava le migliori capacità adsorbenti, per cui tutte le prove di decontaminazione sono state effettuate usando questo prodotto.

2.1.3 Caratterizzazione

Prima di testare le loro proprietà decontaminanti su matrici reali, i campioni di carbone attivato con KOH sono stati caratterizzati mediante analisi elementare accoppiata al microscopio a scansione elettronica (SEM) (Fig. 1), che ha confermato la composizione chimica del materiale.



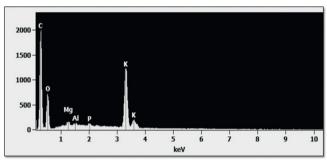


Fig. 1 – Immagine al SEM del carbone attivato con KOH e relativa analisi elementare

2.1 Decontaminazione di acque inquinate

Come prova preliminare, per verificare se il carbone ottenuto fosse in grado di decontaminare un campione di acqua contenente diversi metalli pesanti a concentrazioni note, sono state effettuate prove su un campione preparato in laboratorio, contenente nichel(II), cromo(III) e piombo(II), ognuno in concentrazione accuratamente circa 10 mg/L. I test di rimozione dei metalli dalle acque sono stati eseguiti trattando lo stesso volume di campione con la medesima quantità di carbone, eseguendo prelievi in diversi momenti di un'intera giornata al fine di verificare eventuali fenomeni di desorbimento dei metalli da parte del carbone. Ogni aliquota di acqua contaminata (50mL) è stata trattata con circa 0,5 g di carbone (concentrazione 10 g di carbone/L) e lasciato sotto agitazione a 100-150 rpm per il tempo opportuno. Dopo tempi stabiliti, da ogni soluzione sono stati prelevati circa 10 mL, filtrati mediante filtro da 0,45 um, per escludere qualunque particella solida in sospensione, ed infine conservati in provetta. I campioni sono stati analizzati mediante ICP-AES (spettroscopia di emissione atomica mediante plasma accoppiato induttivamente). Il carbone attivato con KOH ha dato buoni risultati, abbastanza prevedibili, in quanto è noto che la capacità di scambio cationico è favorita in ambiente leggermente basico; inoltre, lo ione potassio K⁺ è un catione con la tendenza a sostituirsi ad altri ioni più pesanti, passando a sua volta in soluzione. I dati raccolti sono i seguenti (Tab. 1)

Tempo (h)	mg/L di Ni	% Ni	mg/L di Cr	% Cr	mg/L di Pb	% Pb
		rimosso		rimosso		rimosso
0	8,515	0,00	9,502	0,00	10,140	0,00
1	0,1517	98,22	0,2090	97,80	0,0942	99,07
4	0,3523	95,86	0,2520	97,35	0,4243	95,82
7	0,1334	98,43	0,2268	97,61	0,0706	99,30
16	0,1516	98,22	0,2624	97,24	0,0751	99,26

Tab. 1 - % di metalli pesanti in acqua contaminata rimossi nel tempo dal carbone attivato con KOH

2.2 Decontaminazione di un suolo reale

Come matrice reale su cui testare le capacità di adsorbimento del carbone, è stato scelto un terreno contaminato da benzine, campionato a pochi km dalla scuola. Non conoscendone le concentrazioni iniziali, è stato necessario effettuare un'opportuna estrazione solido-liquido, al fine di estrarre gli idrocarburi, usando come solvente estrattore una miscela 1:1 di acetone/n-esano miscelato a 10g di terreno per un'ora con una velocità di 120 rpm [5]. L'estratto, conservato in frigorifero, è stato poi trattato con il carbone osservando l'adsorbimento nel tempo. Nello specifico, ad aliquote da 25 mL di estratto sono stati aggiunti 0,25 g di carbone ed il tutto è stato lasciato in agitazione per una, quattro o venti ore, coperto da parafilm. Dopo il tempo previsto, i campioni sono stati analizzati mediante GC-MS (gascromatografo accoppiato ad uno spettrometro di massa), iniettando come standard soluzioni di idrocarburi alifatici C_{10} - C_{40} in concentrazione 10 mg/L. Lo strumento ha quindi effettuato un'analisi sia qualitativa che quantitativa. Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive dei risultati (Fig. 2):

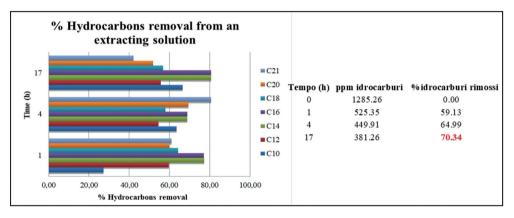


Fig. 2 - Rimozione di idrocarburi nella soluzione estraente nel tempo

Dopo queste prove effettuate sul solvente estrattore, è stata testata la capacità di adsorbimento del carbone direttamente nel suolo, con l'incognita legata al recupero dell'adsorbente mescolato con il terreno. Si è quindi ideato un semplice, ma efficace sistema: il carbone è stato introdotto tra due filtri di carta posti tra due strati di terreno, rendendolo recuperabile. Il terreno (50 g), in cui era stato frapposto il filtro di carbone (2,5 g) è stato bagnato per due settimane con circa 70 mL di acqua, per verificare se l'azione meccanica dell'acqua portasse gli idrocarburi ad adsorbirsi sul carbone. Per avere un riscontro, sono state eseguite due estrazioni, sia sul terreno sovrastante che sottostante il filtro e gli estratti analizzati con il GC-MS. I risultati sono i seguenti (Fig. 3):

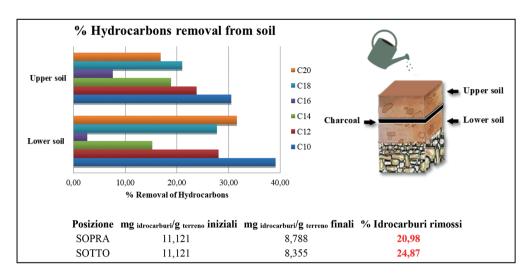


Fig. 3 - Rimozione di idrocarburi nel suolo nel tempo e rappresentazione grafica

2.3 Decontaminazione da fanghi di depurazione

Su un campione reale è stata testata anche la capacità del carbone di adsorbire metalli pesanti. Il campione utilizzato è stato il fango di scarico di un depuratore cittadino, di cui sono stati prelevati circa 2g (dopo sterilizzazione in autoclave) e sono stati aggiunti circa 0,5 g di carbone e 50 mL di acqua distillata per cercare di ricreare un "vero" fango di scarico. Il becher è stato lasciato sotto agitazione per diciannove ore. Per conoscere la composizione di partenza, un campione non è stato trattato con il carbone, ma lasciato per 10 ore in agitazione con acqua distillata al fine di estrarre tutti i metalli. I dati raccolti sono i seguenti (Tab. 2):

Tempo (h)	mg/L di Ni	% Ni rimosso	mg/L di Pb	% Pb rimosso	
0	0,3587	0,00	0,0947	0,00	
19	0,0298	91,69	0,0286	69,80	

Tab. 2 - % di metalli pesanti in fanghi di depurazione rimossi nel tempo dal carbone attivato

2.4 Possibili applicazioni

Dopo averne verificato il potenziale come decontaminante, gli studenti hanno testato come rigenerarlo con opportuni lavaggi (lasciando spazio a ulteriori ricerche in tale direzione) e hanno proposto i seguenti possibili utilizzi su più larga scala per il carbone prodotto. (1) In un impianto di depurazione delle acque il carbone può essere addizionato a filtri già esistenti o usato per costruirne di nuovi, variando le dimensioni e il tempo di attraversamento delle correnti per rendere l'adsorbimento il più efficace possibile. (2) Dette proprietà possono essere sfruttate anche nella decontaminazione di suoli inquinati dove, per ovviare ai problemi di separazione, si consiglia l'applicazione del carbone in filtri permeabili, in modo da facilitarne il recupero e, eventualmente, la riattivazione dei siti attivi. Una sufficiente irrigazione permetterebbe lo scambio dei contaminanti tra terreno e filtro, e l'acqua, percolando, trasporterebbe gli inquinanti facendoli adsorbire sul carbone. (3) Una reale applicazione di uso in situ potrebbe essere quella sui cosiddetti "fanghi di depurazione" destinati all'agricoltura.

3. Conclusioni

Questo lavoro ha avuto una duplice finalità, sia scientifica che didattica. Dal punto di vista dei risultati raccolti, il carbone prodotto si è dimostrato capace di adsorbire metalli pesanti ed idrocarburi in diverse percentuali in soluzioni acquose, fanghi e terreni. L'adsorbimento è risultato rapido e in grado di perdurare nel tempo a breve-medio termine (poiché non sono stati effettuati esperimenti nell'arco di più giorni). L'adsorbente è piuttosto economico, prodotto da scarti vegetali, molto versatile e in grado di adsorbire anche in diverse condizioni. Il carbone ottenuto può rappresentare quindi una soluzione a problemi reali, proponendosi anche su larga scala, con costi non eccessivi e dove il tipo di inquinamento non sia troppo elevato da richiedere interventi più massicci.

Dal punto di vista didattico, gli studenti si sono avvicinati alle tematiche ambientali mediante una didattica laboratoriale e progettuale, sviluppando competenze sia tecniche che di cittadinanza

Inoltre, il progetto *C-apture*, grazie ai risultati raccolti, è stato premiato con la partecipazione alla trentunesima edizione della manifestazione "*I giovani e le scienze*" organizzato da FAST (Milano) ed è stato selezionato per essere presentato alla competizione internazionale sull'ambiente "*Genius Olympiad*" (Oswego, NY), dove è stato premiato con una medaglia d'argento nella categoria "scienze".

Bibliografia

- [1] https://www.miur.gov.it/educazione-ambientale-e-alla-sostenibilità
- [2] Münzel T., Hahad O., Daiber A., Landrigan P.J. Soil and water pollution and human health: what should cardiologists worry about? Cardiovasc Res. 2023 Mar 31;119(2):440-449
- [3] Hagemann N., Spokas K., Schmidt H. P., Kägi R., Böhler M. A., Bucheli, T. D. (2018). Activated Carbon, Biochar and Charcoal: Linkages. MDPI Open Access Journal.
- [4] **Deb A., Miran M., Mollah M.** (2013). Active carbon prepared from vegetable wastes for the treatment of Pb(II) in aqueous medium. Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research, 48, 97-104
- [5] Schwab A.P., Su J., Wetzel S., Pekarek S., Banks M.K. (1999). Extraction of Petroleum Hydrocarbons from Soil by Mechanical Shaking. Environ. Sci. Technol. 33, 11, 1940-1945

ISCO con ozono per la bonifica di acquifero contaminato da idrocarburi ed eteri

Andrea Crema andrea crema@siad.eu, Michela Peroni, Davide Soderino, Eleonora Pasinetti SIAD S.p.A. – Laboratorio di Biologia e Chimica Ambientale, Osio Sopra (BG) Francesca Grecolini Ecotherm S.r.l., Pomezia (RM)

Riassunto

Il presente studio riporta i risultati di un Campo Prova con tecnologia ISCO con ozono per la degradazione della contaminazione residua disciolta riscontrata nell'acquifero in un ex PV carburanti del Nord Italia. L'applicazione della tecnologia in-situ proposta ha determinato in sei mesi la riduzione di circa l'80% della contaminazione organica sito-specifica (Idrocarburi Totali, BTEX, MtBE ed EtBE) e il contenimento delle eccedenze al PoC rilevate prima dell'intervento. Tra le evidenze dell'efficacia del trattamento si evidenziano il raggiungimento di condizioni aerobiche nell'acquifero (potenziale redox in media da -80 mV a +50 mV), la crescita delle conte batteriche totali (CBT) da una media di 104 UFC/ml ad una media di 105 UFC/ml e dei batteri ossidanti specifici (Esano e MtBE ossidanti) da 101-102 MPN/ml a quasi 103 MPN/ml e la riduzione della concentrazione dei composti organici volatili (COV) da 200÷300 ppm a 50÷100 ppm in una sonda soil-gas posta nell'area maggiormente contaminata del sito.

Summary

The present study reports the results of an ISCO Field Test using ozone to remediate the residual dissolved contamination found in the aquifer in a former gas station in Northern Italy. The application of the proposed in-situ technology resulted in the reduction of approximately 80% of site-specific organic contaminants (Total Hydrocarbons, BTEX, MtBE and EtBE) and in the compliance at PoC within six months. Among the evidences of the treatment effectiveness it was possible to highlight the achievement of aerobic conditions in the aquifer (average redox potential from -80 mV to +50 mV), the growth of total bacterial counts (TBC) from an average of 10^t CFU/ml to an average of 10^t CFU/ml and specific oxidizing bacteria (Hexane- and MtBE-oxidizing bacteria) from 10^t-10^t MPN/ml to almost 10^t MPN/ml and the reduction of volatile organic compounds concentration (VOCs) from 200÷300 ppm to 50÷100 ppm in a soil-gas probe placed in the most contaminated area of the site.

1. Introduzione

La contaminazione delle acque sotterranee è un problema mondiale causato principalmente da sversamenti di una vasta gamma di composti organici come ad esempio idrocarburi, eteri, alcani, aromatici e policiclici aromatici. L'ossidazione chimica in situ (ISCO) è una tecnologia di bonifica basata sull'iniezione di composti chimici ossidanti come perossido di idrogeno, persolfato, permanganato e ozono nel sottosuolo per degradare gli inquinanti organici in sostanze innocue. Questa tecnologia può essere utilizzata per trattare un'ampia gamma di inquinanti e contribuire anche a ridurre i tempi di bonifica se associato a un biorisanamento [1]. Attraverso l'ossidazione chimica, i contaminanti delle acque sotterranee vengono scomposti

in anidride carbonica e acqua o resi più biodisponibili per la biodegradazione aerobica trasformando composti complessi in molecole più semplici [2].

I principali vantaggi della ISCO rispetto ad altre tecnologie sono il minor volume di materiale di scarto prodotto e i tempi molto brevi necessari per implementare la tecnologia. Questi vantaggi si traducono in risparmi sui costi di esercizio, manutenzione e monitoraggio [3].

Oltre a questi vantaggi si può eventualmente aggiungere la possibilità di trattare simultaneamente anche la zona insatura del sottosuolo.

Le maggiori limitazioni all'utilizzo dell'ozono riguardano il fatto che si tratta di un gas instabile che non può essere stoccato e deve essere prodotto in loco mediante un generatore in grado di trasformare una frazione di un flusso di ossigeno in ozono, la possibile formazione temporanea di cromo esavalente e la formazione di eventuali prodotti di trasformazione [4]. Per ridurre il rischio di produrre, ad esempio, cromo esavalente, essendo questo dannoso per i microrganismi, le piante, gli animali e l'uomo, possono essere utili test in campo per valutare il dosaggio di ozono di riferimento [5].

2. Relazione

Il presente studio riporta i risultati di un Campo Prova con tecnologia ISCO con ozono per la degradazione della contaminazione residua disciolta (idrocarburi ed eteri) riscontrata nell'acquifero in un ex PV carburanti del Nord Italia.

Il test ha previsto l'iniezione di una miscela di ossigeno e ozono in n.6 piezometri esistenti denominati da P1 a P6 (Fig. 1) intestati in un acquifero prevalentemente limoso-sabbioso con locali intervalli limoso-argillosi. In sito è presente un solo PoC (Punto di Conformità) sul confine di valle idrogeologico. I piezometri sono profondi 9 metri e fenestrati da 1 a 9 metri da piano campagna. La conducibilità idraulica calcolata da precedenti prove di pompaggio è dell'ordine di 8,5x10.6 m/s.

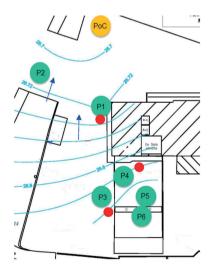


Fig. 1 – Planimetria del sito con indicazione del flusso idrico sotterraneo, diretto dal pozzo P6 verso il PoC (distanza pari a circa 40 m). In rosso le sonde soil-gas esistenti, in verde i punti di iniezione del gas.

2.1 Metodologia

Per il test è stato utilizzato un generatore in grado di trasformare in ozono fino al 3% in peso di un flusso di ossigeno puro stoccato in bombola. Al fine di monitorare la concentrazione di

ozono nel flusso gassoso iniettato nei piezometri e nello sfiato degli stessi, sono stati utilizzati n.2 analizzatori collegati in linea. L'ozono è stato iniettato tramite un diffusore poroso posto alla base di ciascun piezometro, mentre in testa-pozzo è stata posizionata una idonea flangia a tenuta a chiusura del piezometro stesso.

Ciascuna iniezione, condotta una di seguito all'altra, ha avuto una durata variabile di 3÷4 ore, per un volume complessivo di gas iniettato pari a circa 17 Nm' e una massa totale di ozono dosata nel sottosuolo di circa 640 gO,.

Le attività di campo hanno previsto l'analisi dei parametri chimico-fisici delle acque con sonda multiparametrica (pH, temperatura, ossigeno disciolto, potenziale redox, conducibilità elettrica), la determinazione della soggiacenza con *interface probe*, l'analisi dei vapori delle sonde soil-gas esistenti tramite gas-analyzer portatile (VOC, LEL, CO₂, O₂, H₂S) e il campionamento in statico dei piezometri di iniezione per la determinazione analitica microbiologica, dei contaminanti sito-specifici e del cromo esavalente.

2.2 Risultati

Le analisi di baseline mostravano la presenza diffusa di MtBE ed EtBE (valori medi pari rispettivamente a 200 μg/l e 120 μg/l, valori massimi compresi tra 440÷480 μg/l), mentre BTEX (essenzialmente p-Xilene) e Idrocarburi Totali erano principalmente localizzati nel pozzo P1 in concentrazioni rispettivamente pari a circa 40 μg/l e 800 μg/l.

Nella seguente Tabella 1 sono riportate le concentrazioni in µg/l dei contaminanti sito-specifici ordinati dall'alto verso il basso secondo la direzione del flusso idrico sotterraneo, dal punto di monte idrogeologico P6 al PoC di valle, con monitoraggi a 1, 3 e 6 mesi.

ID	Tempo	Benzene	p-Xilene	HC totali	MtBE	EtBE
		1	10	350	40	40
P6	T0	< 0,1	< 1	105	16	99
P6	T1	< 0,1	< 1	411	8,2	64
P6	T3	< 0,1	< 1	77	7,3	49
P6	Т6	< 0,1	< 1	184	5,4	29,3
P5	T0	< 0,1	< 1	240	163	50
P5	T1	< 0,1	< 1	91	68	70
P5	Т3	< 0,1	< 1	< 30	43	62
P5	Т6	< 0,1	< 1	< 30	29,7	58
P3	T0	< 0,1	< 1	163	< 0,5	< 0,5
P3	T1	< 0,1	< 1	93	< 0,5	< 0,5
P3	Т3	< 0,1	< 1	158	20,9	< 0,5
P3	T6	< 0,1	< 1	126	0,7	< 0,5
P4	T0	< 0,1	< 1	129	445	6,7
P4	T1	< 0,1	< 1	150	282	5,7
P4	Т3	< 0,1	< 1	< 30	142	4,8
P4	T6	< 0,1	< 1	< 30	69	4,3
P1	T0	< 0,1	38	802	160	466
P1	T1	124	495	2450	237	370
P1	Т3	48	37	1331	276	309
P1	Т6	37	41	254	59	243
P2	Т0	< 0,1	< 1	< 30	62	29

Segue

ID	Tempo	Benzene	p-Xilene	HC totali	MtBE	EtBE
		1	10	350	40	40
P2	T1	< 0,1	< 1	136	477	77
P2	Т3	< 0,1	< 1	64	173	61
P2	Т6	< 0,1	< 1	< 30	< 0,5	< 0,5
PoC	T0	< 0,1	< 1	39	259	36
PoC	T1	< 0,1	< 1	145	305	45
PoC	Т3	< 0,1	< 1	48	194	36
PoC	Т6	< 0,1	< 1	54	< 0,5	< 0,5

Tab. 1 – Concentrazioni espresse in $\mu g/l$ dei contaminanti sito-specifici nei diversi punti di iniezione (P1÷P6) e nel Punto di Conformità (PoC) ai diversi tempi di monitoraggio (T0=baseline,T1-T3-T6 rappresentano i mesi successivi alle iniezioni). I superamenti del limite normativo (in corsivo sotto il nome di ciascun contaminante) sono riportati in grassetto.

A distanza di un mese dalle iniezioni (Fig. 2) è stato osservato un generale aumento della contaminazione disciolta, con particolare riferimento alla zona di valle idrogeologica, con tutta probabilità a causa del repentino abbassamento del livello piezometrico (valore medio di circa 50 cm su tutto il sito rispetto a T0) e del probabile effetto di desorbimento chimico-fisico delle sostanze organiche dal suolo saturo indotto dall'iniezione del gas. A distanza di 3 mesi i livelli di contaminazione hanno mostrato una significativa riduzione, ulteriormente confermata nel monitoraggio eseguito a distanza di 6 mesi dalle iniezioni. Al tempo T6 è stato possibile calcolare una resa di rimozione pari a circa l'80% di tutti i contaminanti organici. Inoltre, nel PoC non sono più stati rilevati superamenti dei limiti normativi di riferimento.

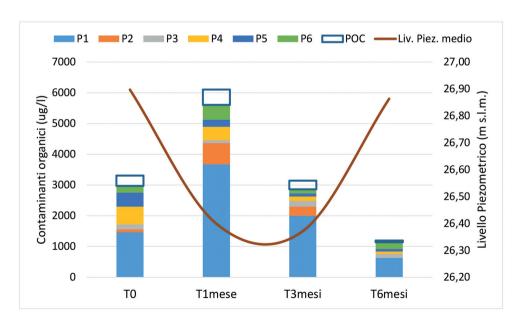


Fig. 2 – Grafico dell'andamento del livello piezometrico (linea marrone) e dei contaminanti organici sito-specifici nei piezometri di iniezione.

Il trend decrescente è correlabile al processo di biorisanamento attivato a seguito dell'iniezione di ozono e ossigeno. L'ozono ha la capacità di desorbire la contaminazione dal suolo saturo e di ossidare i composti recalcitranti formando CO₂ e H₂O o molecole più semplici e biodisponibili. Oltre all'azione dell'ozono, l'ossigeno rilasciato nell'acquifero ha poi favorito il biorisanamento aerobico/anossico dei composti organici residui.

Dal punto di vista chimico-fisico la situazione iniziale mostrava un acquifero in condizioni riducenti (ORP medio pari a -80 mV), con concentrazioni di ossigeno disciolto molto basse (<1 mgO₂/l). Dopo le iniezioni l'ORP medio è aumentato fino a +50 mV in 6 mesi, mostrando l'effetto del rilascio di ossigeno e la conseguente rimozione dei contaminanti (Fig. 3).

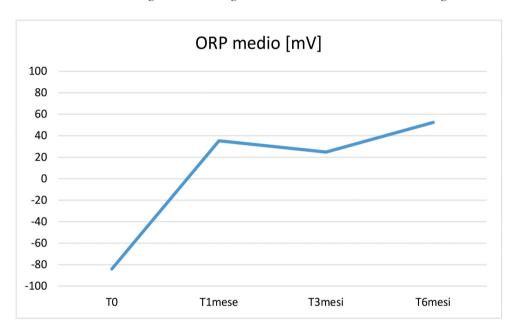


Fig. 3 - Grafico dell'andamento del potenziale redox medio in tutto il sito.

Le analisi microbiologiche (Fig. 4) hanno mostrato l'aumento della CBT aerobica a 22°C da una media di 10³ UFC/ml ad una media di 10⁵ UFC/ml in 15 giorni. Le analisi dei batteri ossidanti specifici hanno mostrato l'aumento delle concentrazioni di batteri esano e MtBE ossidanti da una media di 10¹-10² MPN/ml a una media di quasi 10³ MPN/ml. I risultati analitici hanno mostrato l'attivazione della flora microbica autoctona indicando che il processo ossidativo non ha determinato la formazione di sostanze inibenti il processo biologico.

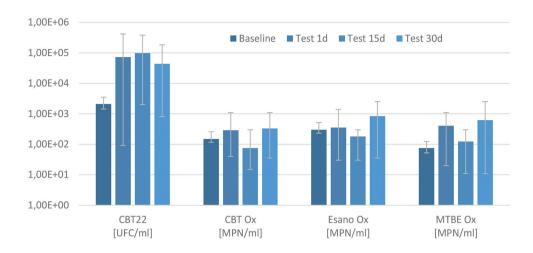


Fig. 4 – Grafico dell'andamento dei valori medi su N.6 punti campionati della CBT a 22°C e dei batteri ossidanti specifici nei punti di iniezione. Analisi effettuate a 1,15 e 30 giorni dalle iniezioni.

Il cromo esavalente (Fig. 5), formatosi a seguito delle iniezioni fino ad un valore massimo di circa $30 \,\mu\text{g/l}$ internamente al sito, non è mai stato rilevato al PoC e a monte si è completamente degradato al di sotto del limite normativo ($5 \,\mu\text{g/l}$) nell'arco di 15-30 giorni.

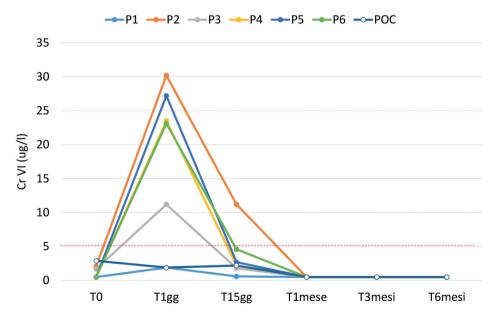


Fig. 5 – Grafico dell'andamento del cromo esavalente mei piezometri di iniezione.

Infine, per quanta riguarda la zona insatura, durante le iniezioni è stato possibile rilevare la variazione della percentuale di ossigeno e ozono in alcune sonde soil-gas esistenti poste in prossimità dei punti di iniezione, nonché la variazione delle concentrazioni di VOC. In una

sonda soil-gas situata nella zona di monte idrogeologico (vicino ai pozzi P3÷P6, dove i punti di iniezione erano spazialmente ravvicinati tra loro) i VOC sono diminuiti da 200÷300 ppm prima delle iniezioni a 50÷100 ppm alla fine delle iniezioni, indicando che una parte dell'ozono è stata utilmente trasferita anche nella zona insatura.

3. Conclusioni

Il presente studio riporta i risultati di un Campo Prova con tecnologia ISCO con ozono per la degradazione della contaminazione residua disciolta (idrocarburi ed eteri) riscontrata nell'acquifero in un ex PV carburanti del Nord Italia.

L'applicazione della tecnologia *in-situ* proposta ha determinato in sei mesi la riduzione di circa l'80% della contaminazione organica sito-specifica (Idrocarburi Totali, BTEX, MtBE ed EtBE) e il contenimento delle eccedenze al PoC rilevate prima dell'intervento.

Tra le evidenze dell'efficacia del trattamento si evidenziano il raggiungimento di condizioni aerobiche nell'acquifero (potenziale redox in media da -80 mV a +50 mV), la crescita delle conte batteriche totali (CBT) da una media di 10⁴ UFC/ml ad una media di 10⁵ UFC/ml e dei batteri ossidanti specifici (Esano e MtBE ossidanti) da 10¹-10² MPN/ml a quasi 10³ MPN/ml e la riduzione della concentrazione dei composti organici volatili (COV) da 200÷300 ppm a 50÷100 ppm in una sonda soil-gas posta nell'area maggiormente contaminata del sito.

Il cromo esavalente, formatosi a seguito delle iniezioni fino ad un valore massimo di circa 30 µg/l internamente al sito, non è mai stato rilevato al PoC e a monte si è completamente degradato nell'arco di 15-30 giorni.

I risultati ottenuti hanno portato alla approvazione da parte degli Enti di Controllo della tecnologia ISCO con ozono come Variante al Progetto di Bonifica del sito, il quale prevedrà cicli di iniezioni periodiche di ozono per rimuovere la contaminazione organica disciolta residua nell'arco di 8 mesi.

Bibliografia

- [1] Yu-Chen C., Yen-Ping P., Ku-Fan C., Ting-Yu C., Chen-Ting T. 2022 The effect of different in situ chemical oxidation (ISCO) technologies on the survival of indigenous microbes and the remediation of indigenous microbes and the remediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil. Process Safety and Environmental Protection, 163, July 2022, Pages 105-115, https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.05.019.
- [2] Caniani D., Caivano M., Mazzone G., Masi S., Mancini I.M. 2021 Effect of site-specific conditions and operating parameters on the removal efficiency of petroleum-originating pollutants by using ozonation. Science of The Total Environment, 800, 15 December 2021, 149393. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149393.
- [3] Leu J., O'Connell S., Bettahar M., 2016 Remedial Process Optimization and Ozone Sparging for Petroleum Hydrocarbon-Impacted Groundwater. Remediation Journal, Volume 26, Issue 3 p. 73-94, https://doi.org/10.1002/rem.21470.
- [4] ITRC 2005, Technical and Regulatory Guidance for In Situ Chemical Oxidation of Contaminated Soil and Groundwater.
- [5] Fallgren P., Bensch G., Li S., Huang Z., Urynowicz M., Jin S., 2016 Dosing of ozone in oxidation of methyl tert-butyl ether while minimizing hexavalent chromium formation in groundwater. Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 4, Issue 4, Part A, https://doi.org/10.1016/j. jece.2016.10.014.

<u>Indice degli autori</u>

Alini Stefano 126 Amodeo Elisa 153 Andreloli Tiziana 269 Arabia Eliana 23 Azzarone Francesco 119

Bagnini Marco 160 Berardi Mariagrazia 197 Beretta Gabriele 291 Bergonzoni Francesca 233 Bergonzoni Marco 225 Bertoldi Daniela 276 Bianchi Camilla 49 Bolognini Luca 49 Bona Daniela 276 Bonino Francesca 204 Brida Laura 106 Brini Silvia 31

Caccia Martina 126 Capão Luís 283 Capoti Francesco 64, 171 Caprioli Giovanni 78 Cardellicchio Francesco 9 Carnabuci Claudio 291 Casadei Monica 64, 171 Casaletta Elisa 188 Casarotto Marzio 23 Casolani Veronica 218 Cavanna Valentina 204 Cazzaniga Dream 153 Ceraldi Donata 92 Cespi Marco 78 Ciccarelli Marco 147 Cipollini Francesca 49 Coletta Martina 78, 241 Compagnoni Marco 133 Cozzi Lorena 147 Crema Andrea 306

Crisponi Nadia 181

Cristoforetti Andrea 276 Crova Roberto 119 Curcio Giulia Maria 269

D'Alessandro Aldo 241 D'Alessio Antonio 262 Damiano Raffaele 49 Del Grosso Michele 209 De Maio Elisabetta 16 De Maio Francesca 16, 31 Detomati Giulia 153 Di Lascio Andrea 85 Di Menno di Bucchianico Alessandro 31 Dolci Giovanni 291 Donega Massimo 23

Esposito Giovanni 140

Falco Paolo 49 Favot Marinella 133 Ferraglio Marzio 64, 171 Ferrigno Marianna 181 Fibbiani Nadia 147 Folino Luca Adolfo 181 Franceschini Antonio 197 Fresia Claudio 225 Frugis Alessandro 140 Furini Marica 181

Gardini Giacomo 188 Garuti Mirco 248 Ghiringhelli Giorgio 85, 92, 255 Giardi Giuliana 16, 30 Giavini Michele 255 Grecolini Francesca 306 Gulotta Angelo 299

Houston Giulia 153

Invernizzi Marzio 39

Langone Michela 140 La Terza Antonietta 78, 241 Lazzazzara Marco 140 Leal Paulo 283 Lens Piet N. L. 140 Lepore Arianna 16, 31 Limonti Carlo 269

Maheswaran Menakha 49 Manganiello Veronica 181 Mangiagli Sebastiano 72 Maran Chiara 112 Marazzato Alberto 233 Mardassi Naim 23 Marrazzo Romualdo 57 Matassa Silvio 140 Mazzei Caterina 197 Mazzini Cosetta 57 Melo Vera 283 Merafina Paola 119 Meroni Roberta 147 Mirani Federica 153 Modonese Daniele 23 Montermini Luca 225 Monticelli Marco 78 Monzani Saul 85

Noto Chiara 248

Ostan Paolo Simon 126

Pagani Paolo 255
Paleari Michele 112
Pannuti Ugo 112
Panzeri Filippo 39
Panzeri Paola 126
Papirio Stefano 140
Pasinetti Eleonora 306
Pedò Stefano 276
Pedrini Francesca 126
Pelagalli Vincenzo 140
Pera Massimo 160
Peretti Clara 31
Pergamo Raffaella 181
Pernigotto Giovanni 23
Peroni Michela 306

Petta Luigi 140 Piccinini Sergio 248 Piermatti Valentina 160 Priore Riccardo 133 Proietti Elda 85, 92, 255

Race Marco 140 Raggi Andrea 209 Raimondi Marco 49 Ramundo Caludiana 269 Realini Francesca 299 Rigamonti Lucia 291 Rissone Giovanni 64, 171 Rizzo Fabio 119 Ruberto Myriam 181

Sagratini Gianni 241 Saponaro Sabrina 291 Sbarbaro Giuseppe 255 Scalo Tito 9 Scolieri Giacomo Domenico 39 Servadei Luigi 99 Sezenna Elena 291 Siciliano Alessio 269 Sigala Marco 49 Silvestri Silvia 276 Simboli Alberto 209, 218 Sinisgalli Erika 248 Sironi Selena 39 Soderino Davide 306 Soldano Mariangela 248 Strippoli Stefano 119 Sturini Paolo 188

Taddeo Raffaella 218 Tascione Valentino 209 Tirler Werner 23 Toma Marcella 49

Vattakunnel Shaji 49 Vezzoli Daniele 291 Visconti Leonardo 188 Vittadini Elena 78 Vucemillo Enrico 23

Waris Natasha 78