



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

- *Gestione e valorizzazione dei rifiuti*
- *Economia circolare entro le principali filiere industriali*
- *Gestione e valorizzazione della risorsa idrica*
- *Bonifica sostenibile e rigenerazione dei siti inquinati*
- *Bioeconomia: il settore foresta legno*
- *Monitoraggio e controllo ambientale*

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 Technologies* 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 nonché il coordinatore del “Gruppo di Coordinamento Nazionale per la Bioeconomia” istituito 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 2022 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: 978.88.916.6123.4

Indice

- 7 Editoriale
- 9 **GESTIONE E VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI**
INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR RECYCLING AND RECOVERY
(INTERNATIONAL EVENT)
- 11 AraBat: a green hydrometallurgical process for recycling spent lithium-ion batteries by reusing agri-food waste *di Raffaele Nacchiero, Leonardo Binetti, Gian Maria Gasperi, Giovanni Miccolis, Leonardo Renna, Vincenzo Scarano, Francesco Contillo, Paolo Marasco, Mauro Marone, Deborah Racca, Matteo Francavilla*
- 18 CISUFLO: Circular Sustainable Flooring *di Ine De Vilder, Luca Bertamini, Madeira Scauri, Marco De La Feld*
- 24 Supercritical water precipitation for metal recovery and recycling: an advanced solution to improve the supply chain sustainability in the surface treatment industry *di Carlotta Micale, Dario Mosconi, Riccardo Momoli, Marco Bersani*
- 31 CIRCULAR BIOCARBON: Turning carbon of complex organic urban waste streams into value-added products *di Natalia Alfaro, María Luisa Álvarez*
- 38 Circular economy as a good answer to crises: the CESME project *di Valeria Stacchini*
- 45 LCA of Concrete Made with Recycled Peritoneal Dialysis Plastic as Aggregate Material *di Benedetta Copertaro, Rebecca Craine, Evangeline Buckmaster, Jakob Winkler, Vanessa O'Brien, Thomas Pickard, Olivia Flower, Louise Bardwell, Gianluca Magrini, Ryan Pike*
- 52 Informare i cittadini sulla raccolta differenziata in maniera smart: il caso junker app *di Noemi De Santis*
- 59 Analisi del comportamento dei cittadini nei processi di raccolta differenziata *di Sebastiano Mangiagli*
- 65 La transizione ecologica parte dalle scuole? Un approccio didattico all'economia circolare *di Francesca Realini, Giuseppa Cucchiara, Angelo Gulotta*
- 73 **XXIV CONFERENZA NAZIONALE SUL COMPOSTAGGIO E LA DIGESTIONE ANAEROBICA**

- 75 Digitalizzazione del Biometano. Casi studio: Biometano 4.0 agricolo e da FORSU di *Gianluca Fusillo, Giuseppe Lorusso, Nicola Prunella, Miriam Sorbo*
- 81 Digestato da FORSU: valutazione della stabilità di nuovi materiali fertilizzanti di *Erika Sinisgalli, Mirco Garuti, Mariangela Soldano, Sergio Piccinini*
- 89 Risultati operativi di produzione di biogas da FORSU di *Pietro Paolo Cella Mazzariol, Gian Francesco Galanzino, Elisa Vittoria Ghiggini, Pierfrancesco Pitardi*
- 97 STRUMENTI OPERATIVI E DI VALUTAZIONE PER LA GESTIONE DI MATERIALI ED ENERGIA IN UN'ECONOMIA CIRCOLARE
- 99 Sistemi di Gestione Integrata per il recupero dei materiali da Veicoli Fuori Uso abbandonati di *Luca Pomili, Alessio Fabrizi*
- 105 Life cycle assessment of a decentralised approach to dairy by-product valorisation: opportunities for sustainable intensification and circularity di *Eric Mehner, Mentore Vaccari, Daniele Pizzichini, Valentina Fantin*
- 112 Materiale di Riporto e consumo di suolo: criticità della normativa italiana di *Eugenio Capponi*
- 118 Screening via drone di una discarica di RSU per la ricerca dei punti di emissione di metano di *Giuseppe Tassielli, Bruno Notarnicola, Pietro Alexander, Rosa Di Capua, Maurizio De Molfetta, Donatello Fosco*
- 124 Migliorare la sostenibilità ambientale. Il caso dei prodotti gicléeart di *Alfredo Ernesto Di Noia, Giuseppe Martino Nicoletti, Giulio Mario Cappelletti, Carlo Russo*
- 132 Pnrr, Pitesai e Crisi Ucraina, strumenti e acceleratori per la transizione ecologica: ma sarà davvero possibile? di *Tiziana Fiorella, Andrea Marega, Cristina Maria Celotto*
- 138 Piani di azione a supporto dei servizi per l'economia green e circolare di *Valeria Stacchini*
- 145 Il ruolo del green public procurement per favorire il riciclo e il recupero di *Alessandra Mascioli, Cristina Peretti*
- 152 Il Centro del Riutilizzo in una grande città: il caso Busto Arsizio (VA) di *Giorgio Ghiringhelli, Gianfranco Carraro, Claudia Colombo*
- 158 Gli obiettivi di riciclo nella pianificazione regionale: il caso della Regione Lombardia di *Giorgio Ghiringhelli, Michele Giavini, Elisa Amodeo, Silvia Colombo*
- 164 Il Testo Integrato della qualità del servizio di gestione dei rifiuti urbani (TQRIF) di ARERA: un'analisi empirica su un campione di gestioni di *Giorgio Ghiringhelli, Silvia Contri, Giuseppe Sbarbaro, Monica Benzi, Stefano Amandolesi*

- 171 La produzione dei rifiuti e influenza della tariffa puntuale *di Ernesto Infusino, Roberta Infusino*
- 178 L'economia circolare per la riqualificazione e l'innovazione dei mercati locali *di Marino Cavallo,*
- 185 Technical aspects in the evaluation of offshore CO₂ storage in depleted levels of hydrocarbon *di Romualdo Marrazzo, Francesco Astorri*
- 192 Recupero e valorizzazione di alghe infestanti per la produzione di sensori biocompatibili *di Massimo Mari, Carla Mazziotti, Antonella Macagnano*
- 199 **ECONOMIA CIRCOLARE ENTRO LE PRINCIPALI FILIERE INDUSTRIALI LA SIMBIOSI INDUSTRIALE PER LA STRATEGIA NAZIONALE DI ECONOMIA CIRCOLARE**
- 201 Circular economy application from the field to the net. Sustainable and innovative feeds from agricultural wastes for a resilient and high-quality aquaculture *di Germana Borsetta, Sauro Vittori, Alessandra Roncarati, Emanuela Frapiccini, Mauro Marini, Monica Panfili, Alessandra Campanelli, Pierluigi Penna, Giuseppe Meca, Khaled Taibi*
- 208 Misurare l'economia circolare nel settore agroalimentare: una panoramica delle review *di Valentino Tascione, Gavina Manca, Andrea Raggi, Luigia Petti*
- 215 L'importanza della co-progettazione nello sviluppo di un progetto di simbiosi industriale *di Elisa Amodeo, Giulia Detomati, Claudio Avella, Rita Trombin, Andrea Grillenzoni, Aleck Preti*
- 223 End of waste: l'esperienza applicativa *di Alessandra Carboni, Laura Conti, Francesca Sala*
- 229 **GESTIONE E VALORIZZAZIONE DELLA RISORSA IDRICA ZERO POLLUTED AND CIRCULAR WATER - GESTIONE, TRATTAMENTO E VALORIZZAZIONE DEI FANGHI DI DEPURAZIONE**
- 231 Bioconversion of urban sewage sludge mediated by larvae of black soldier fly, *Hermetia illucens* *di Silvia Arnone, Massimiliano De Mei, Francesco Petrazzuolo, Sergio Musmeci, Paolo Bonilauri, Annalisa Grisendi, Michele Curatolo, Francesco Defilippo, Lorenzo Tonelli, Andrea Salvicchi*
- 237 Potenziale dei trattamenti idrotermici propedeutici all'incenerimento dei fanghi di depurazione *di Federico Viganò, A. Conversano, M. Gabba, M. Zatti, M. Sbaffi, F. Cella*
- 245 **ZERO POLLUTED AND CIRCULAR WATER - INQUINANTI EMERGENTI (PFAS E SOSTANZE CHIMICHE PERSISTENTI E/O MOBILI – PM, MICRO-PLASTICHE, SOSTANZE ANTIBIOTICO-RESISTENTI): DIFFUSIONE, DESTINO, SALUTE E GESTIONE DEL RISCHIO AMBIENTALE**

- 247 Trattamento termico di PFAS in matrici liquide *di Mantovani Marco, Zanetti Nicola, Della Zassa Micol, Beltrame Davide, Zerlottin Mirco, Canu Paolo*
- 254 Rimozione del boro da acque di strato mediante lisciviato di ceneri pesanti e Ca(OH)_2 *di Carlo Limonti, Giulia Maria Curcio, Francesco Marchio, Alessio Siciliano*
- 261 O3 nei depuratori delle acque reflue: una nuova visione verso migliori prestazioni e minori costi *di Riccardo Calvi, Pier Luigi Radavelli*
- 269 WATER PROJECT EUROPE - CHALLENGES AND ECO-INNOVATION ACTIONS ADDRESSING WATER SCARCITY AND DROUGHT IN MEDITERRANEAN COUNTRIES (INTERNATIONAL EVENT)
- 271 A Water Utility Data- Driven Analytical Software for Water & Wastewater Networks *di Pietro Oliva, Cedric Macleod*
- 277 Measuring the water stress in the agricultural sector. An application for Mediterranean area towards Circular Economy *di Tiziana Crovella, Giovanni Lagioia, Annarita Paiano*
- 284 Assessing Sustainability in Reusing of a Treated Wastewater for Irrigation *di Carlo Russo, Piervito Bianchi, Giulio Mario Cappelletti, Alfredo Ernesto Di Noia, Luca Grilli*
- 291 BONIFICA SOSTENIBILE E RIGENERAZIONE DEI SITI INQUINATI
**STRATEGIE SOSTENIBILI PER LA BONIFICA DEI SITI INQUINATI:
ESEMPI VIRTUOSI E RECENTI EVOLUZIONI DELLA RICERCA
APPLICATA NAZIONALE E INTERNAZIONALE**
- 293 La bonifica di un sito inquinato con l'impiego di idonee soluzioni tecnico operative *di Antonella Lomoro, Gen. B.CC Giuseppe Vadalà, Magg. Aldo Papotto, Ten. Col. Nino Tarantino, ing. arch. Francesco Berardi*
- 301 BIOECONOMIA: IL SETTORE FORESTA LEGNO
**NUOVE FRONTIERE PER LE FILIERE FORESTALI: POLICY E
GOVERNANCE PER DARE VALORE AD UNA RISORSA STRATEGICA
PER IL NOSTRO PAESE**
- 303 Foreste metropolitane: strumenti e progetti sviluppati dalla Città metropolitana di Bologna *di Valeria Stacchini*
- 310 Tutela della Biodiversità per INWIT: impatti e opportunità - Position Paper *di Emanuele Cardinale, David Giraldi*
- 317 Biomateriali da nanotecnologie per il recupero di scarti della filiera agroforestali *di Antonella Macagnano, Massimo Mari, Fabrizio De Cesare, Daniele Bianconi*

- 323 **MONITORAGGIO E CONTROLLO AMBIENTALE**
EMISSIONI ODORIGENE: DALLE TECNOLOGIE DI ABBATTIMENTO
ALLE NUOVE STRATEGIE DI CONTROLLO
- 325 Nuove frontiere nella caratterizzazione delle emissioni odorigene da cumuli di biomassa legnosa *di Francesca Tagliaferri, Marzio Invernizzi, Selena Sironi*
- 332 Analisi chimica di composti odorigeni mediante TD-GC-MS/FID/PFPD *di Elisa Polvara, Daniele Morosini, Marzio Invernizzi, Selena Sironi*
- 338 Il radon negli ambienti di vita confinati e gli interventi di efficientamento energetico degli edifici *di Francesca De Maio, Silva Brini, Elisabetta De Maio, Giuliana Giardi, Arianna Lepore, Daniela Santonico, Barbara Castrucci, Giuditta Garziano*
- 345 I controlli di ARPA Lombardia sulle spedizioni transfrontaliere di rifiuti inerti provenienti dal Canton Ticino (Svizzera - CH) *di Roberta Meroni, Lorena Cozzi, Marco Ciccarelli*
- 351 Il progetto S.AVA.GE.R. - Sorveglianza Avanzata Gestione Rifiuti *di Nadia Fibbiani, Dario Bellingeri, Alessandro Loda*
- 359 **LA QUALITÀ DELL'ARIA INDOOR: LE SORGENTI DI EMISSIONI,**
I RICAMBI DELL'ARIA, L'EFFICIENZA ENERGETICA E LE NUOVE
TECNOLOGIE NEL CONTROLLO E MONITORAGGIO
- 361 Analysis of the relationship between environmental fine PM concentrations and indoor air quality *di Lorena Nappa, Gian Marco Sabatucci, Alessandro Peruzzi, Andrea Lanna, Giuseppe Molinaro*
- 367 An indoor case study: analysis of fragrances in a house during cleaning operations and under normal conditions *di Serena Santoro, Marina Cerasa, Paola Romagnoli, Massimiliano Frattoni, Paolo Ceci, Catia Balducci*
- 374 Smart information on air quality: strengths and weaknesses of information circulating around the world *di Alessandra Fino, Francesca Vichi, Cristina Leonardi*
- 381 Inquinanti organici in ambienti indoor in università italiane *di Paola Romagnoli, Catia Balducci, Marina Cerasa, Mattia Perilli, Angelo Cecinato*
- 389 Andamento stagionale del PM_{2.5} e degli IPA in un appartamento ed effetti del lockdown da CoViD-19 *di Catia Balducci, Angelo Cecinato, Paolo Ceci, Paola Romagnoli, Mattia Perilli, Serena Santoro, Marina Cerasa*
- 396 Qualità dell'aria indoor negli ambienti scolastici: progetto SIAQ (School Indoor Air Quality) *di Claudio Bosio, Daniele Modonese, Valter Pellizzari, Elisa Cecere, Del Din., Gabriel Faustin, Mattia Franzoi, Ludovica Frascetta, Devid Frasnelli, Syria Giacomini, Sirio Giovannini, Francesco Lazzarotto, Camilla Lazzeri, Daniele Manca, Martina Mazzarelli, Timoteo Tomio, Davide Volcan, Paolo Burzacca, Massimo Donegà, Werner Tirlir, Enrico Vucemillo, Giovanni Pernigotto*

- 403 LA VALUTAZIONE DI IMPATTO SANITARIO (VIS): LA COLLABORAZIONE TRA LE ISTITUZIONI NAZIONALI E LE REGIONI NELL'APPROFONDIMENTO DELLE LINEE GUIDA ISS
- 405 Metodi e approcci per la gestione e tutela dei servizi ecosistemici dei suoli nei cantieri *di Andrea Monti, Elena Ballabio, Elena Castelli, Erika De Finis, Alessia Mariotto, Elisa Nava, Valeria Spirolazzi*
- 413 Indoor Air Quality e Smart Building: sinergie e opportunità *di Andrea Lanna, Giuseppe Santoro, Lorena Nappa, Luca Alberto Piterà, Michele Rossi, Nicolas Fernando Marrugo Cardenas, Umberto Paracchini*

Editoriale

Gli articoli raccolti in questo volume riguardano alcuni dei contributi presentati alle principali conferenze di Ecomondo 2022, svoltosi a Rimini dal 8 all'11 novembre 2022.

Gestione e valorizzazione dei rifiuti

In particolare, una parte degli articoli raccolti, selezionati e valutati insieme ai coordinatori di sessione, riguardano **l'innovazione, la formazione e il coinvolgimento nella gestione e la valorizzazione dei rifiuti**. L'emergenza sanitaria legata alla pandemia di COVID-19 ha significativamente alterato sia la quantità di rifiuti generati (con una diminuzione prevista dovuta in particolare al blocco parziale delle attività produttive), sia la loro composizione (con un incremento di plastica usa e getta utilizzata per motivi di prevenzione sanitaria), sia le modalità di gestione (essendo aumentata la probabilità di un rischio infettivo presente anche nei rifiuti urbani). Gli articoli selezionati presentano iniziative, nuove tecnologie e buone pratiche per la gestione e valorizzazione dei rifiuti municipali ma anche quelli organici (civili e del settore agroalimentare) e delle filiere dei materiali non biologici (rifiuti elettrici/elettronici, veicoli, plastica tradizionale, ecc). Alcuni degli articoli sono focalizzati sulla biometanazione dei rifiuti organici con la annessa produzione di fertilizzanti organici e composti di interesse industriale. Altri riguardano il monitoraggio e la salvaguardia del suolo. Vi sono approcci anche alla gestione dell'anidride carbonica. Sono poi presentati nuovi metodi di misurazione degli impatti, per la quantificazione dei flussi di materia e la valutazione della circolarità, sostenibilità ambientale, economica e sociale degli approcci adottati. Altri articoli infine presentano esempi del contributo del Programma Nazionale di Gestione dei Rifiuti e del PNRR nella transizione ecologica di alcune aziende nazionali, sempre più competitive sul fronte del riciclo e valorizzazione dei rifiuti.

Economia circolare entro le principali filiere industriali

Altri contributi riguardano l'adozione della **simbiosi industriale nell'ambito dell'economia circolare nazionale**. La simbiosi industriale è uno strumento cruciale per rilanciare la competitività, ridurre la dipendenza dalle materie prime, rilanciare l'economia post-Covid e aumentare la resilienza del sistema attraverso ecosistemi territoriali in grado di assorbire scompensi esogeni. Alcuni degli articoli che seguono presentano casi operativi reali di implementazione della simbiosi industriali entro alcune filiere fra cui quelle agroalimentari.

Gestione e valorizzazione della risorsa idrica

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. Inoltre si necessitano soluzioni tecno-

logiche più efficienti per la gestione sostenibile e resiliente dei fanghi di depurazione. In aggiunta, nella macroregione Mediterranea, la scarsità d'acqua e le sue implicazioni politiche, economiche e sociali si fanno sentire molto gravemente anche a causa del cambiamento climatico in corso, ma soprattutto della pressione demografica macroregionale e dello sviluppo locale di attività ad alta intensità idrica, come il turismo e l'industria manifatturiera. In questo caso, oltre alle tecnologie, servono strategie adeguate per la gestione integrata dell'acqua (per irrigazione, produzione di energia e uso domestico e industriale) ma anche collaborazione internazionale. Alcuni degli articoli raccolti presentano lo stato dell'arte e recenti sviluppi nei diversi ambiti indicati.

Bonifica sostenibile e rigenerazione dei siti inquinati

Vi è poi un contributo sulla **bonifica sostenibile e la rigenerazione dei siti inquinati**. Negli ultimi anni, la ricerca scientifica ha consentito il significativo miglioramento sia nella comprensione della dinamica della contaminazione che nello sviluppo di appropriate tecnologie di caratterizzazione e di bonifica dei siti inquinati in grado di coniugare efficienza e sostenibilità. Il contributo presentato ne è una conferma.

Bioeconomia: il settore foresta legno

La Bioeconomia rigenera la biodiversità, gli ecosistemi, il suolo e l'ambiente in generale. **Le risorse boschive sono un pilastro dell'azione rigenerativa della bioeconomia**. L'ultimo anno ha visto la pubblicazione della strategia forestale europea ed immediatamente dopo quella nazionale evidenziando come il contesto politico sia sempre più attento alla valorizzazione delle risorse boschive, delle produzioni legnose e delle ricadute del comparto in ambito climatico, economico e sociale. Gli effetti delle tensioni internazionali e le dinamiche innescate dalla pandemia sui mercati internazionali delle materie prime e dei prodotti energetici, impongono di incrementare la produzione di materiali legnosi, secondo modelli di bioeconomia circolare e sostenibile, per fornire adeguate risposte ai diversi settori industriali, da quelli più tradizionali (imballaggi, arredo, carta, ecc.) a quelli più innovativi (edilizia, tessile, energia, bioraffinerie, ecc.) fortemente orientati a risorse rinnovabili e locali. Gli articoli raccolti mostrano la rilevanza della biodiversità forestale, le necessità di monitorarla e di favorirla anche nella rigenerazione delle città e le opportunità derivanti dalla valorizzazione integrata delle biomasse legnose.

Monitoraggio e controllo ambientale

Infine alcuni contributi degli Atti di Ecomondo di quest'anno sono dedicati al **monitoraggio e controllo ambientale**, in primo luogo delle emissioni odorigene provenienti da rifiuti, biomasse legnose, ecc, con tanto di innovazione nella determinazione dei composti organici ed inorganici responsabili delle stesse. Altro tema oggetto di alcuni contributi è la qualità dell'aria *indoor*, al centro dell'attenzione per il ruolo che la stessa ha svolto nel recente shock pandemico, con la progettazione legata ai nuovi stili di vita e materiali e alle nuove tecnologie di ventilazione e di monitoraggio dell'aria nelle abitazioni e nelle scuole. Rilevanti anche alcuni contributi diretti al monitoraggio del PM2.5 e delle fragranze in ambienti chiusi. Infine due contributi sono sulla valutazione dell'impatto sanitario, in linea con le esigenze dei diversi livelli istituzionali e contesti territoriali.

Questa raccolta di articoli potrà essere utile per coloro che non hanno potuto partecipare ad Ecomondo2022 e rappresenta una preziosa fonte di informazioni e di stimoli a sostegno di uno sviluppo della Green, *Circular and regenerative Economy* in Italia, in Europa e nel Mediterraneo.

GESTIONE E VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR RECYCLING AND RECOVERY (INTERNATIONAL EVENT)

The ambitious goals of the new Circular Economy Action Plan, as well as the strategic importance for Europe to limit its dependence from other world regions, in terms of material and energy resources, require the implementation of innovative recycling and recovery processes. This seminar is aimed at presenting technological innovations, which can improve the efficiency of secondary material valorization, increasing the circularity of materials and decreasing energy consumption. The presented activities could be related to different sectors (urban or industrial waste, residues, by-product) and various categories of materials (plastics, metals, WEEE, textiles, building and construction, food, etc.)

A cura di: **Ecomondo STC & Italian Chemical Society – Division Environmental and Cultural Heritage & Chemistry, ATIA – ISWA**

Presidenti di sessione:

Mauro Majone, STC Ecomondo, Università “La Sapienza” Roma

Fabrizio Passarini, STC Ecomondo, Università di Bologna

Marco Ricci, ISWA International

AraBat: a green hydrometallurgical process for recycling spent lithium-ion batteries by reusing agri-food waste

Raffaele Nacchiero raf.nac@hotmail.it, Leonardo Binetti leonardo.binetti.93@gmail.com, Gian Maria Gasperi gianmaria.gasperi@aforis.it, Giovanni Miccolis giova.mic98@gmail.com, Leonardo Renna l.renna@hotmail.com, Vincenzo Scarano vincenzoscarano13@gmail.com

AraBat srl, Foggia

*Francesco Contillo francesco.contillo@unifg.it, Paolo Marasco paolo.marasco@unifg.it, Mauro Marone mauro.marone@unifg.it, Deborah Racca deborah.racca@unifg.it, Matteo Francavilla matteo.francavilla@unifg.it STAR*Facility Centre, University of Foggia, Foggia*

Riassunto

La startup innovativa AraBat e il suo principale partner di ricerca (STAR Facility Centre - Università di Foggia) hanno implementato un processo innovativo per il riciclo delle batterie agli ioni di litio esauste (LIB) e il recupero dei metalli preziosi in esse contenuti. Le LIB esauste vengono trattate con un processo idrometallurgico verde, sostenibile e circolare. L'approccio proposto evita le alte temperature e i pericolosi acidi forti e include un pretrattamento semplificato che consentirebbe di evitare la pre-separazione di Al e Cu dalla black mass con un significativo risparmio di costi. Ottimizzando i risultati ottenuti da Wu et al. (2020), il sistema AraBat prevede una lisciviazione verde che sfrutta l'effetto sinergico della buccia d'arancia (proveniente da scarti agroalimentari, come la sansa di agrumi) e dell'acido citrico per recuperare metalli preziosi (Li, Ni, Co, Mn) dalla black mass, con un significativo risparmio dei costi.

Summary

The innovative startup AraBat and its main research partner (STAR Facility Centre – University of Foggia) have implemented an innovative process for recycling spent lithium-ion batteries (LIBs) and recovering the precious metals contained in them. Spent LIBs are treated with the use of a green, sustainable and circular hydrometallurgical process. The proposed approach avoids high temperatures and dangerous strong acids and includes a simplified pre-treatment that would allow avoiding the pre-separation of Al and Cu from the black mass with significant cost savings. By optimising the results obtained by Wu et al. (2020), the AraBat system provides for green leaching that exploits the synergistic leaching effect of the orange peel (coming from agri-food waste, such as citrus pomace) and citric acid to recover valuable metals (Li, Ni, Co, Mn) from the black mass decreasing the overall costs of pre-treatments.

1. Introduction

Lithium-ion batteries (LIBs) have become the most common energy storage technology and are currently the fastest-growing sector of the battery market [1][2][3]. It has been estimated that they will reach a value of more than \$50 billion and a compound annual growth rate (CAGR) of 11% by 2024[4]. This exponential growth has been induced by the increasing popularity of electric vehicles and the growing applications of storage and accumulation of

energy generated from renewable sources. However, this increment has generated concerns regarding the availability and supply of the materials needed to make this type of battery and the possible ways to solve the future and relevant problems related to disposal [5]. For this reason, an innovative circular economy process to recycle spent LIBs and recover internal materials is a promising approach to addressing the problems mentioned above and concerns. From a purely economic point of view, LIBs recycling mainly focuses on recovering precious metals, commonly considered “critical raw materials”, which make up the cathodic component of batteries: Lithium and transition metals such as Nickel, Manganese and Cobalt [6]. However, it is not just an economic issue: in fact, the disposal of LIBs is a very sensitive issue, as these batteries can emit toxic gases when exhausted and cause fires in landfills and collection sites [7]. This represents a very important environmental problem that can be solved through the diffusion of new technologically advanced and highly sustainable recycling processes. The LIB cathode can be denoted either as NMC (Nickel, Manganese, Cobalt), or LMOs (Lithium, Manganese, Oxygen), LCOs (Lithium, Cobalt, Oxygen) [8]. A binder holds the cathode metals together (Polyvinylidene fluoride - PVDF). For example, this has strong resistance to chemical corrosion and thermal resistance and provides high bond strength, and it can be a source of worrisome releases of toxic fluorinated compounds during battery recycling [9] [10].

Wu et al. [11]”ISSN”:"15205851",”PMID”:"32644805",”abstract”:"The development of environmentally benign hydrometallurgical processes to treat spent lithium-ion batteries (LIBs) recently tested and reported on the use of citric acid (H_3Cit) as a leaching agent in combination with the use of orange peels (OP) as a green, reducing system and adsorbent [12] to extract and recover metals (Ni, Co, Mn, and Li) from the LIB black mass. Here, the authors modify the leaching conditions (raw material, temperature, time, H_3Cit concentration, extraction technology) and metal recovery conditions by selective precipitation of the respective carbonates and hydroxides by addition of CO_2 and NaOH, controlling temperature conditions. However, some aspects emerge from this research that needs further scientific investigation to evaluate the process’s scalability at pilot scale, such as the separation of Cu and Al foil. Other technical aspects are under review for patent evaluation and cannot be discussed now. The work presented here shows the leaching efficiency when only the copper foil is separated, whereas the rest goes into the leaching process. In other words, the extra cost of disassembling and separating the Al foil is avoided.

2. Workflow

Wu et al. (2020) optimized the leaching conditions (5 g black mass, 100 ° C for 4 h, 1 g OP, 100 mL H_3Cit 1.5M) and the recovery conditions of the metals by selective precipitation of the respective hydroxides by adding NaOH and temperature control. However, the following constraints in our opinion need to be verified:

- The battery opening and dismembering process. In the reference work, Wu et al. (2020) talked about dismemberment of the battery without any preliminary separation of the main constituent components: casing (metal or plastic), anode material and cathode material. They were pulverized and subjected to a leaching process. Vice versa, the need to preliminarily separate the components was evident in other scientific works.
- The separation of the paste consisting of PVDF binder and metals from the current collector (Al foil). The authors used the generic term “black mass”, but its composition is not specified and if it included also the binding polymer and the current collector.
- The effect of leaching conditions on metal recovery and degradation of the PVDF binder. This point was not addressed in the work of Wu et al (2020).
- The chemical characterization and verification of the efficiency of orange biomass to be

used as a reducing system in combination with the smoothing solution based on citric acid. In order to implement an equally innovative and better recycling process based on green leaching, AraBat and STAR Facility Centre have reconstructed the experiment of Wu et al. (2020), aiming at its improvement (solving the previous points) and the introduction of an unprecedented technology.

2.1 Characterization of orange peel biomass.

The biomass of oranges (peel) (Fig. 1) was characterized in terms of Proximate analysis (Tab. 1), elemental composition (percentage of dry weight- %dw, Tab. 2), carbohydrate composition (Tab. 3), and ABTS assay (Tab. 4).



Fig. 1 – Orange peel powder

| Parameter | Value |
|------------------------|-------|
| Moisture (%) | 71.33 |
| Total Solid (%) | 28.68 |
| Volatile Solids (% dw) | 79.92 |
| Ash (% dw) | 2.48 |
| Fixed Carbon (% dw) | 17.60 |

Tab. 1 – OP Proximate Analysis

| Parameter | Value |
|-----------|-------|
| C (% dw) | 44.01 |
| H (% dw) | 5.83 |
| N (% dw) | 0.84 |
| S (% dw) | 0.03 |

Tab. 2 – OP Elemental Composition

| Parameter | Value (g/g dw) |
|---------------------|----------------|
| Glucuronic Acid | 0.00 |
| Galacturonic Acid | 0.10 |
| Glucose | 0.39 |
| Xylose | 0.16 |
| Arabinose | 0.08 |
| Total Carbohydrates | 0.73 |

Tab. 3 – *OP Total Carbohydrates*

| Parameter | Value ($\mu\text{mol Trolox/g}$) |
|------------|------------------------------------|
| ABTS Assay | 98.187 |

Tab. 4 – *OP ABTS Assay*

2.2 Opening process and separation of LIB-type battery components

A battery type ICR18650-26C was opened under safe conditions (checking of charge reset, use of fume hood, and explosion protection systems), and various components were identified: cathode material (CM), anode material (AM), polyethylene separator (PE), copper foil on which the cathode material is attached (Cu), and aluminium foil on which the cathode material (Al) is adhered (Fig. 2).

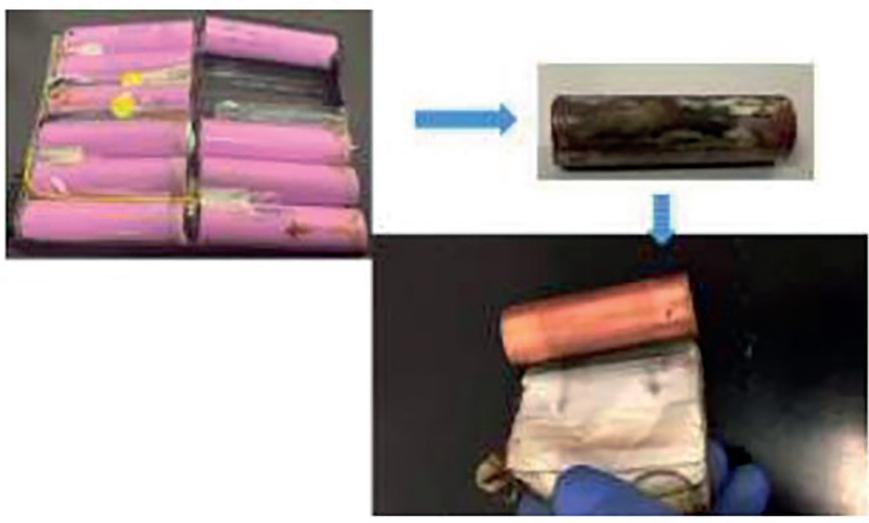


Fig. 2 – *Opening process of ICR18650-26C battery*

At this point, an aliquot of cathode and anode material was mechanically detached (scraped) from the metal foils and analysed in the ICP-OES (Agilent 720) for its chemical composition. Here, the copper foil was not included in this process because it was easy to separate from the rest of the battery. The results of the analytical determinations are shown in Tab. 5.

| Element | AM %dw | CM %dw | BM %dw |
|---------|--------|--------|--------|
| Al | 0.33 | 0.03 | 5.13 |
| Co | 6.64 | 42.95 | 27.37 |
| Cu | 1.75 | 0.61 | 0.87 |
| Fe | 0.43 | 0.10 | 0.40 |
| Li | 1.61 | 6.05 | 4.80 |
| Mn | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| Ni | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| P | 0.98 | 0.43 | 0.34 |

Tab. 5 – Chemical composition of AM, CM and BM (with PE, AM, CM, Al)

As shown in Tab. 5, the chemical composition of the cathode material (CM) shows that the battery used for the tests is of the LiCoO₂ type. In fact, it presents a Cobalt content of about 43% dw and a lithium content of 6.03% dw. In addition, small amounts of Nickel are present (0.02 % dw), while Manganese is undetectable in the CM.

2.3 Leaching of metals from the binder-metal complex.

Firstly, the same leaching conditions reported by Wu et al. (2020) were tested: 5 g of pd CM, reflux at 100 °C for 4 h, 1 g OP, 100 mL H₂Cit 1.5M.

Secondly, 5 g of BM, the mix composed of PE+AM+CM+Al cut in small pieces, were used instead of 5 g CM only.

| Element | CM %dw | BM %dw |
|---------|--------|--------|
| Al | 0.000 | 64.36 |
| Co | 91.30 | 84.24 |
| Li | 80.50 | 66.35 |
| Ni | 90.10 | 27.85 |

Tab. 6 – Leaching efficiency when Wu et al. (2020) conditions are applied to CM and BM

Tab. 6 shows the leaching efficiency results (LE %) of the various metals obtained by applying the following equation:

$$LE\% = \frac{\text{singular concentratio of Co, Li, Ni, Al}}{\text{total concentration of Co, Li, Ni, Al in aqua regia}} \cdot 100$$

Data analysis confirms the leaching efficiencies of Wu et al. (2020), even though they used only the pulverized cathode material CM as process input material.

In contrast, applying the same leaching conditions on BM (PE+AM+CM+Al) shows a reduction in extraction efficiency and the passage of Aluminium into the solution. In particular,

the extraction efficiency for Cobalt is reduced from 91.30% to 84.20%, for Lithium from 80.50% to 66.35% and for Nickel (present in traces) from 90.10% to 27.85%. However, it must be noted that the reduction in LE for the most abundant elements (Lithium and Cobalt) is only a few percentage points.

Moreover, this loss in LE can be offset by the fact that one is working on a raw material input (BM) that can be realised and obtained with less complex and time-consuming technological processes (a simple grinding of the battery content) than those required to obtain the pulverized cathode material alone separated from all other components.

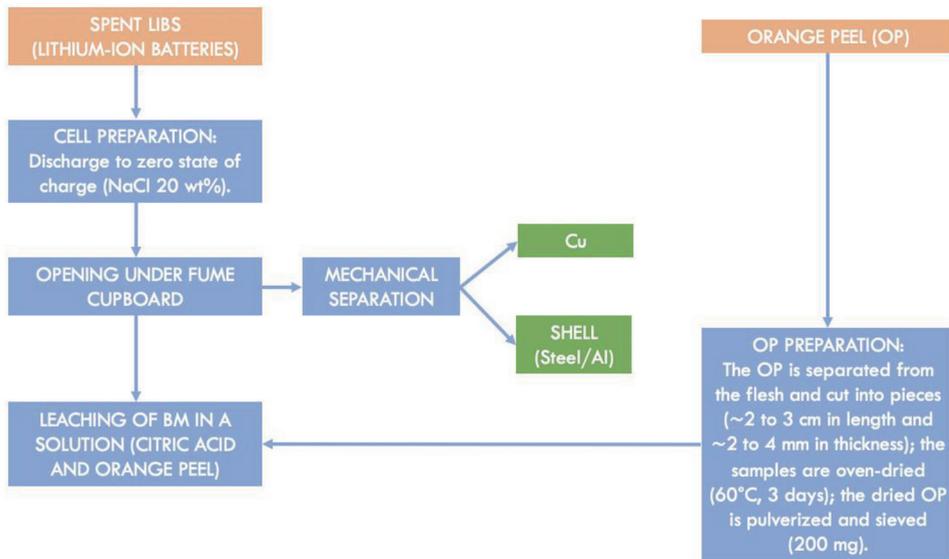


Fig. 3 – AraBat innovative battery recycling process as optimization of Wu et al. (2020) work

Fig. 3 summarizes the first phases of the AraBat innovative process deriving from the operations reported in this work. The reported phases are followed by subsequent unprecedented operations aimed at changing the pH for the precipitation of the main metal compounds that the startup intends to introduce on the market: lithium carbonate, cobalt hydroxide, nickel hydroxide and manganese hydroxide. A hydrometallurgical process of this type, without the use of large impacting furnaces or difficult-to-manage strong acids, constitutes a technological revolution in the field of battery recycling and a business experiment with very promising growth prospects.

3. Conclusions

In conclusion, the leaching efficiency of the Wu et al. (2020) method could be used not only when the cathode material alone is used but also when all the other components (apart from Cu) are used. Therefore, this approach decreases the time and costs needed to separate Al foil, showing that Al can be leached. Future work also considers the Cu foil; therefore, pre-treatment costs are avoided.

Bibliography

[1] Alcock, K. M., Grammel, M., González-Vila, A., Binetti, L., Goh, K., Alwis, L. S. M. (2021). An Accessible Method of Embedding Fibre Optic Sensors on Lithium-ion Battery Surface for in-situ Thermal Monitoring. *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 332, p. 113061.

- [2] **Lei, C., Aldous, I., Hartley, J., Thompson, D., Scott, S., Hanson, R., Anderson, P., Kendrick, E., Sommerville, R., Ryder, K., Abbott, A.** (2021). Lithium ion battery recycling using high-intensity ultrasonication. *Green Chemistry*. 23. 10.1039/D1GC01623G.
- [3] **Heath, G. A., Ravikumar, D., Hansen, B., Kupets, E.** (2022). A critical review of the circular economy for lithium-ion batteries and photovoltaic modules – status, challenges, and opportunities. *J. Air Waste Manage. Assoc.*, vol. 72, no. 6, pp. 478–539.
- [4] **Zhao, Y., Pohl, O., Bhatt, A., Collis, G., Mahon, P., R  ther, T., Hollenkamp, A.** (2021). A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling. *Sustainable Chemistry*. 2. 167-205. 10.3390/suschem2010011.
- [5] **Ma, X., Azhari, L., Yan, W.** (2021). Li-ion battery recycling challenges. *Synergy*, vol. 7, no. 11, pp. 2843–2847.
- [6] **Rostami, T., Khoshandam, B., Maroufi, S.** (2022). Recovery of Lithium, Cobalt, Nickel, and Manganese from spent lithium-ion batteries through a wet-thermal process. *Mater. Res. Bull.*, vol. 153, no. February, p. 111897.
- [7] **Nedjalkov, A., Meyer, J., K  hring, M., Doering, A., Angelmahr, M., Dahle, S., Sander, A., Fischer, A., Schade, W.** (2016). Toxic Gas Emissions from Damaged Lithium Ion Batteries—Analysis and Safety Enhancement Solution. *Batteries*. 2. 5. 10.3390/batteries2010005.
- [8] **Malik, M., Ho, K., Azimi, G.** (2022). Review on the synthesis of $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ (NMC) cathodes for lithium-ion batteries. *Mater. Today Energy*, vol. 28, p. 101066.
- [9] **Ji, Y., Jafvert, C. T., Zyaykina, N. N., Zhao, F.** (2022). Decomposition of PVDF to delaminate cathode materials from end-of-life lithium-ion battery cathodes, vol. 367.
- [10] **Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P., Mellander, B.** (2017). Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. *Sci. Rep.*, pp. 1–13.
- [11] **Wu, Z., Soh, T., Chan, J. J., Meng, S., Meyer, D., Srinivasan, M., Tay, C. Y.** (2020). Repurposing of Fruit Peel Waste as a Green Reductant for Recycling of Spent Lithium-Ion Batteries. *Environ. Sci. Technol.*, vol. 54, no. 15, pp. 9681–9692.
- [12] **Solangi, N. H., Kumar, J., Mazari, S. A., Ahmed, S., Fatima, N., Mubarak, N. M.** (2021). Development of fruit waste derived bio-adsorbents for wastewater treatment: A review. *J. Hazard. Mater.*, vol. 416, no. March, p. 125848.

CISUFLO: Circular Sustainable Flooring

*Ine De Vilder, ivi@centexbel.be, Centexbel, Ghent, Belgium
Luca Bertamini, luca.bertamini@aquafil.com, Aquafil S.p.A., Arco, Italy
Madeira Scauri, scauri@enco-consulting.it, Enco S.r.l., Napoli, Italy
Marco De La Feld, m.delafeld@enco-consulting.it, Enco S.r.l., Napoli, Italy*

Summary

CISUFLO aims to setup a systemic framework for circular and sustainable 'floor coverings' (carpets (PA), resilient floor coverings (PVC) and laminates (wood)) and to minimise the total environmental impact of the sector. CISUFLO provides systemic innovations at technical, information and socio-economic level and performs 6 pilots to demonstrate their feasibility and value (future flooring, sorting, separation, laminate, vinyl, and textile flooring recycling). The basis for circularity is realising circular material streams. Circularisation will be realised via systemic innovations that deliver value along the chain: (i) manufacturing future flooring that is easier to remove, replace, repair & recycle, (ii) provide data via an integrated product information system. The final aim is to realize a sustainable competitive EU flooring manufacturing industry.

Riassunto

CISUFLO mira a creare un quadro sistemico per i "pavimenti" circolari e sostenibili (moquette (PA), pavimenti resilienti (PVC) e laminati (legno)) e a ridurre al minimo l'impatto ambientale complessivo del settore. CISUFLO fornisce innovazioni sistemiche a livello tecnico, informativo e socioeconomico, realizzando 6 progetti pilota per dimostrarne la fattibilità ed il valore (pavimentazione futura, smistamento, separazione, riciclaggio di pavimenti laminati, vinilici e tessili). La base della circolarità è la realizzazione di flussi di materiali circolari. Il nostro obiettivo è realizzare la circolarità attraverso innovazioni sistemiche che forniscano valore lungo la catena: (i) produrre pavimenti del futuro che siano più facili da rimuovere, sostituire, riparare e riciclare, (ii) fornire dati attraverso un sistema informativo di prodotto integrato. L'obiettivo finale è quello di realizzare un'industria manifatturiera competitiva e sostenibile per i pavimenti dell'UE.

1. Introduction

The European Green Deal [1], as launched by the Commission President Ursula von der Leyen in December 2019, has two main goals: to achieve climate neutrality by 2050 and to create a Circular Economy in Europe, whereby resources are kept in circulation for as long as possible. The European flooring industry is working towards these goals by striving to increase the use of recycled content in products and to recycle more end-of-life flooring.

Against this background nineteen partners joined forces in 2021 in the European Horizon 2020 CISUFLO project [2], Circular Sustainable Floorings, which will last for 4 years. It aims to develop innovative circular products for the flooring industry, prompting, in the long run, the adoption of a circular economy model throughout the entire value chain and beyond. The project focuses in particular on carpets, laminate, and vinyl floor coverings. CISUFLO takes a holistic approach: looking at the 'full product' and the 'full lifecycle', thereby considering 'full value chains'. The workplan foresees the implementation of six pilots focusing on manufacturing, sorting, separation, and recycling of floor coverings and on the scaling up of novel

technologies. An integrated product information system, to be aligned with upcoming digital product passports, will be introduced, providing the necessary data to each stakeholder along the value chain.

To make the shift to a circular economy, the flooring sector deals with multiple challenges. The product types are multiple and consist out of various raw materials (PVC, PA, PP, glass fibre etc.) and additives. Product lifetimes are very diverse: from 3-4 days (event carpet) to 20-40 years. The flooring sector is also linked to other sectors like construction and building, furniture, interior, plastics etc. and has a complex value chain.

2. Report

2.1 CISUFLO overall goals

The main goal of CISUFLO is to setup the systemic framework for circular and sustainable ‘floor coverings’ in EU and to minimise the total environmental impact of the sector. With ‘floor coverings’ textile floor coverings or ‘carpet’, resilient floor coverings or ‘vinyl’ and laminates are envisaged. The systemic framework will allow to align all the steps along the value chain to ensure maximum value retention of the products and the materials for the whole system. At each step, technical feasibility, as well as socio-economic aspects, will be ensured. At full circular level, data management will be ensured by creating ePRODIS, an electronic product information system. The impact of the developed products and processes will be evaluated using Lifecycle assessment (LCA) and Techno-economic assessments (TEA). An overview of the main activities, pilot 1 up to 6, is visualised in figure 1.

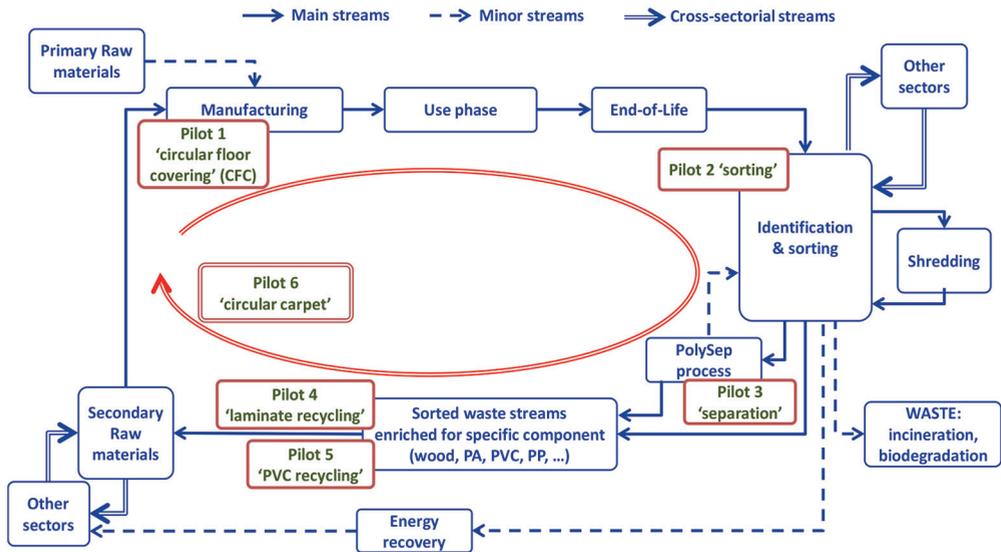


Fig. 1 – Overview CISUFLO

2.2 Pilot 1 – Circular floor coverings (CFC)

In order to technically realise CFC, there do exist single activities. But a harmonised, overall approach covering design, material and manufacturing is missing. Up to 80% of products’ environmental impacts are determined at the design phase, so concepts like Design for longevity, Design for disassembly and Design for recycling have to be taken into account. In order to

facilitate recycling, multi-material floor coverings are being redesigned using only one type of material (see figure 2 left).

For carpets, the focus lies on PA6, as this can chemically be recycled by Aquafil. The piles will be bonded using a thermofusion process. Further, if the mono-material concept would not be technically feasible, the implementation of separation layers is being assessed, which are triggering at end-of-life (see figure 2 right).

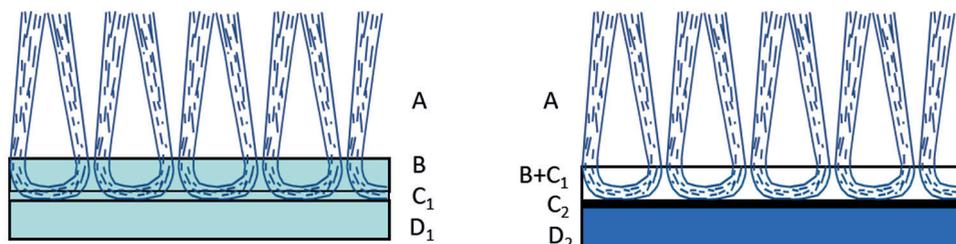


Fig. 2 – Overview concepts carpets: **Left**) Mono-material concept: A) PA6 piles, B) primary backing PA6, C,) thermofused piles, D,) secondary backing PA6. **Right**) Separation layer concept: A) PA6 piles, B+C,) primary backing PA6 with thermofused piles, C,) separation layer, D,) conventional secondary backing

Cushion vinyl has also a complex multi-layered structure and is not designed for recycling, hence it mostly ends up being incinerated or landfilled. Therefore, redesigning of the product is crucial to augment recycling rates.

As the CFC will be linked to an electronic database, a study is being conducted to find the most optimal tagging option. By reading out this tag, the necessary data (e.g. technical performance, material composition, maintenance, dismantling and collection procedure etc.) will be provide to relevant stakeholders.

2.3 Pilot 2 - Sorting

Current waste material sorting methods are well described [3,4]. The case studies focus on the analysis of flows of substances of concern, but no specific example is reported for flooring materials. Many efforts have been made recently to identify various types of materials by artificial intelligence, typically for separation of waste material at municipal waste collection companies, but little is available in Bibliography regarding specific flooring material sorting. A conveyor belt system is being developed enabling the identification and sorting of different flooring products. Identification will be done using a VIS camera, followed by near infrared spectroscopy.

2.4 Pilot 3 – Separation

As flooring materials which are in use nowadays are not designed for recycling, a method to separate the different polymer materials at end-of-life needs to be researched. For this purpose, the PolySep process [5] will be investigated. It is a solvent-based delamination/separation method. The solvent does not dissolve, but is absorbed within the materials. The material fibres are then blasted out with steam, and finally separated by air classifier. The separation of standard material combinations such as PA6/PP, PA6/latex, PVC/glass fibre etc. will be investigated. A pilot-scale plant is being implemented (see figure 3).

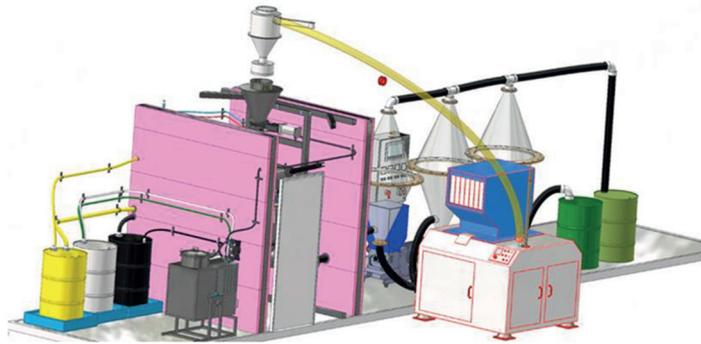


Fig. 3 – PolySep process (Pilot 3) diagram

2.5 Pilot 4 – Laminate recycling

Currently, laminate flooring is not recycled, but used as biomass fuel. The high-density fibre board (HDF), the baseboard of the product, is the main part of a laminate flooring (see figure 4). This HDF layer is composed of more than 80% wood fibres, which are bound together by resin or glue.

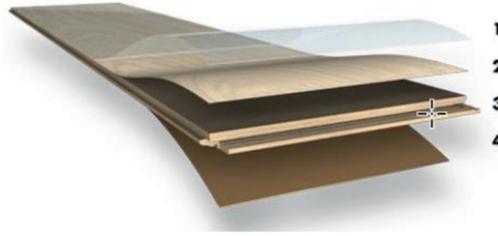


Fig. 4 – Composition of a typical laminate flooring: 1) Transparent wear resistant overlay; 2) Decor layer; 3) High Density Fibre Board (HDF); 4) Backer layer.

As laminate is mainly installed floating with a click system, waste streams are not polluted after removal when collected separately, and hence allow easy recycling at end-of-life. Several techniques have been studied by Unilin and finally a steam defibering process has been found most appropriate to convert end-of-life MDF/HDF containing products such as laminate flooring [6]. After intensive lab testing, a pilot plant has been built to demonstrate the feasibility of the technology. This pilot (design capacity 1.5 ton/hour) shows the potential of the process and is being operated currently on a daily basis in order to find the best process settings. The goal is to meet the requirements in terms of capacity of the process and degree of defibration, when using laminate flooring as an input material. The setup of the process has been done based on uncoated MDF/HDF. Using this kind of raw material, the process yields above 95% of good fibers when the input MDF is based on (melamine)urea-formaldehyde glues and with a capacity above 1 ton per hour. These produced recycled fibers are then used in replacement of virgin fibers in the MDF/HDF production line, without impacting the quality of the newly produced MDF/HDF. The next steps in the process are now focusing on further optimization of the process towards higher yield and lower energy costs and investigate the influence of the presence of coatings and the use of different types of (biobased) glues.

2.6 Pilot 5 – PVC recycling

Luxury vinyl tiles (LVT) are a very good example of a product that fits currently already very well the CFC: it can already be made with over 50% recycled post-industrial and post-fabrication PVC, but the current waste stream is too small to guarantee sufficient sourcing for LVT production. The tile itself can be recycled but only limited end-of-life LVT is already available. As it is a strongly growing market segment, the bottleneck is to provide sufficient additional recycle source, hence the use of recycled material coming from old window profiles is being investigated for LVT production. The potential to also use this specific recycle stream in cushion vinyl is also being assessed. So far, it is clear that virgin and recycle PVC powder behave differently when adding them to paste formulations. The differences between the virgin and recycle PVC powder are being mapped. It also has an influence on the foaming behaviour of the PVC, as can be seen in figure 5, so optimisation is needed.



Fig. 5 – Foamed PVC layer: Left) Reference, no recycle; Middle) 3 wt% recycle; Right) 12 wt% recycle

Next to the incorporation of recycled content, the recyclability of standard cushion vinyl will be assessed by using e.g., the PolySep process (described in section 2.4).

2.7 Pilot 6 – Circular carpet

Choosing the example of PA carpet, this pilot connects the outcomes of pilots 1, 2 and 3 (see sections 2.2 up to 2.4) to a material circle. This circle will cover the production step, the use phase and end-of-life with sorting and separation of flooring waste, as well as PA6 recycling. The completion of the cycle will be demonstrated by reintroducing recycled polymers (PA and PP) into the production step. The focus during the simulated use-phase will be on innovative installation materials to ensure easy removal and to demonstrate extension of the service lifetime via improved cleaning & maintenance, enabled by information provided via ePRODIS.

The full circularity of PA carpets will be demonstrated at industrial pilot scale. Different carpet types like residential broadloom, office carpet tiles and dust control mats will be investigated. The process will include yarn and carpet production, installation, service lifetime simulation, removal, sorting, separation, and recycling of the components.

As the possibility of carpet recycling, and its costs, will be determined by the separation methods identified. This will also define the route for improvements, through a specific eco-design in the carpet design phase.

CISUFLO will investigate both the mechanical separation, currently the main option at industrial level (ACR plant, Slovenia and USA, by Aquafil), and create the know-how already on a pilot scale for the solvent-based separation (PolySep Process).

On top, carpet recycling economics will be linked to the possibility to recover value also from the non-pile part (like NBR rubber, bitumen, PO, PVC, PP, PE, etc.) by creating connections within the world of material circularity.

3. Conclusions

According to Jane Gardner, Managing Director of the European Resilient Flooring Manufacturers Institute, and sustainability expert, collaboration and cooperation between companies, across sectors and across borders, is the best way to secure meaningful sustainability

improvements. This statement is completely in line with the European CISUFLO project, involving a diversity of partners, all with their specific knowledge.

Not only the technical challenges of redesigning floor coverings to be circular, and incorporating recycled content, are considered, the whole value chain is scrutinized. Other important aspects are how to collect the waste, logistics, circular business models, environmental impact, and cost of recycling processes etc.

As standardisation will play a huge role in the development of a circular economy, one should take the ongoing standardisation activities into account from the early development phase, so a liaison was established with CEN/TC 134 – Resilient, textile, laminate, and modular multilayer Floor Coverings – to align the CISUFLO developments with upcoming circular economy standards like the product passport.

Acknowledgement

The CISUFLO project has received funding from the European Union’s Horizon 2020 Research and Innovation Programme under Grant Agreement No 101003893.

Bibliography

[1] https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75e-d71a1.0002.02 /DOC_1&format=PDF

[2] www.cisuflo.eu

[3] **European Commission, Directorate-General for Environment, M. Dubois, E. Sims, T. Moerman, et al.** *Guidance for separate collection of municipal waste*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2779/691513>

[4] **European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs.** *Information flows on substances of concern in products from supply chains to waste operators: final report (including annexes)*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2873/873130>

[5] patent WO 2018/035565

[6] patent EP1484BE01

Supercritical water precipitation for metal recovery and recycling: an advanced solution to improve the supply chain sustainability in the surface treatment industry

Carlotta Micale carlotta.micale@circularmaterials.it Circular Materials s.r.l., Cadoneghe (PD), Dario Mosconi dario.mosconi@circularmaterials.it Cadoneghe (PD), Riccardo Momoli riccardo.momoli@circularmaterials.it Cadoneghe (PD), Marco Bersani marco.bersani@circularmaterials.it Cadoneghe (PD).

Riassunto

L'aumento della complessità nella composizione delle acque reflue dei processi galvanici richiede che il liquido sia opportunamente pretrattato prima di poter precipitare i metalli in essa disciolti e procedere alla flocculazione. Allo stesso modo, dopo i trattamenti convenzionali in un impianto di precipitazione chimica, le acque necessitano spesso di diverse procedure per rientrare nei parametri di legge, come la filtrazione con carboni per ridurre la Chemical Oxygen Demand (COD) e l'uso di resine a scambio ionico per ridurre la concentrazione di metalli pesanti, additivi organici e cianuri. Sfruttando le proprietà dell'acqua supercritica (ovvero 373°C e 220 bar) è possibile evitare la produzione di fanghi dalle acque reflue, ed evitare che questi vengano stoccati nelle discariche come rifiuti speciali, potendo invece valorizzare i metalli recuperati dal processo come materie prime seconde.

Summary

The increase in complexity in the composition of the wastewater of the galvanic processes requires an effort in the management of the liquid which must be suitably pre-treated before being sent to the precipitation of metals and clarification via flocculation. Similarly, after the conventional treatments in a chemical precipitation plant, the waters often need several procedures to re-enter the legal parameters, such as filtration with coals to reduce the Chemical Oxygen Demand (COD) and the use of ion-exchange resins to further reduce heavy metals, organic additives, and cyanides and other critical pollutants. By exploiting the properties of supercritical water (namely 373°C and 220 bars) it is possible to avoid the production of sludges from wastewaters, and avoid their disposal as hazardous wastes, being able instead, to valorize the metals recovered with the process as secondary raw materials.

1. Introduction

Common industrial processes (e.g., metal surface treatment) generate big volumes of wastewaters containing heavy metals, they are very energy demanding (i.e., electrolytic processing), with low efficiency (i.e., hydrodynamic cavitation). This generates a dramatic environmental

impact: current wastewater treatment technologies rely on the use of hazardous chemicals. All the state-of-the-art solutions for treating industrial wastewaters produce toxic sludges that have to be disposed of in authorized landfills as special waste. This creates a serious environmental risk due to toxic substances leaching out to the soil and/or groundwater (around 60% of the European water bodies are not in good ecological status). Both the use of chemicals and the disposal of sludges increase the costs, but there is another issue: over 95% of the metals present in wastewater are not recovered, leading to increased extractive activities - which also increases the associated environmental impact. Many of these metals come from outside EU and some are in short supply, making them valuable for the European economy.

At Circular Materials we developed a completely circular process exploiting the supercritical properties of water, to recover metals from the wastewaters. In Table 1 a comparison between the supercritical precipitation and the other processes currently employed for the separation of metals from water is presented.

| | Chemical Precipitation | Membrane Filtration | Ionic Exchange | Adsorbimento | CIRCULAR MATERIALS |
|----------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------|--|--------------------|
| Type of process | Chemical | Physical | Chemical | Physico-Chemical | Supercritical |
| Chemical additives required | Ca(OH) ₂ FeS | Surfactants Polymers | Resins | HCl, H ₂ SO ₄ / NaOH | NO |
| Sludge containing heavy metals | YES | YES | YES | YES | NO |
| Direct recovery of the materials | NO | NO | NO | NO | YES |

Tab. 1 – Comparison between Circular Materials and other processes for wastewater management.

Depending on the operating parameters of the system and the characteristics of the incoming fluid, metals are separated in the form of oxides, hydroxides, or pure metals. As a beneficial side effect, COD, heavy metals, organic additives, cyanides, and other critical pollutants are reduced. In Table 2, all the main advantages of the process are resumed.

| Features | Benefits | Value |
|--|---|---|
| In-situ metals recycling, Technology as a Service, Plant installed in line with galvanic/electroless process, no added chemicals, Plug & Play, Electrical energy as the only input | Low cost for wastewater treatment; Reduction of landfill disposal costs; No special waste to landfills; Reduction of material supply risk | Circularity; Low environmental footprint; Meeting more stringent EU regulations |

Tab. 2 – Resume of features, benefits, and advantages of Circular Materials' supercritical precipitation process.

In this paper, we will discuss the technical aspects of the patented process of Circular Materials and present a selection of case studies that are relevant, especially for the surface treatment industry, chosen among 250 industrial wastewaters tested and processed in our plants since 2019.

2. Report

2.1. Supercritical precipitation process

Thanks to a Continuous Hydrothermal Flow treatment in supercritical water [1-4], at Cir-

cular Materials we precipitate metal powders from industrial wastewaters, to obtain clean effluent with no sludge generation, for a fully circular metal regeneration process.

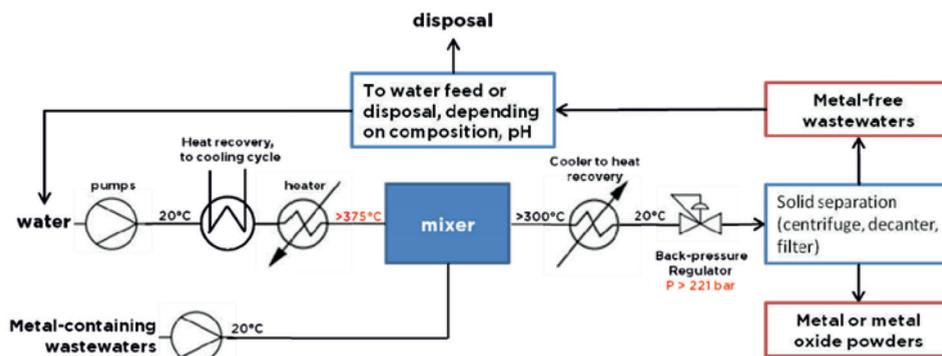


Fig. 1 – Scheme of the working process to recover the materials from wastewaters, exploiting the properties of supercritical water.

The wastewater is mixed with a supercritical water stream, and the metal is precipitated and easily recovered in a separation system. Metal-free wastewaters can be recycled in the process or sent for disposal. Figure 1 shows the scheme of the process.

The process leads to a low environmental footprint and reduced energy consumption: all the heat that is transferred from the system to the process is retained in the fluids and can be recovered and reused from high-quality waste heat (>300°C) both within the process (up to 50%) or by integration with customer’s thermally demanding processes (plating tank heating, drying).

At Circular Materials, the recovery of precious metals (Palladium, Gold, Platinum, and Ruthenium) and heavy metals from the surface treatment industry (Chromium, Zinc, Nickel), lead to a recovery rate of 98.4 – 99.9%. The interest in the removal and recovery of Nickel (Ni) is orientating most of the technological efforts, since Nickel is one of the most polluting and toxic metals, present in the wastewaters of numerous industrial processes, and particularly critical for the industry – due to the high cost of treatment and disposal - and for the environment – due to its toxicity. The interest in recovering precious metals has the aim to further valorize the products as a secondary raw material, in a greener way than the current strategies adopted at the industrial scale. In the next section, selected case studies are reported.

2.2 Case studies

Exploiting Supercritical Water Precipitation, we recycled up to 99.9% of the precious metal dissolved in the wastewater; they are separated in the form of oxides, hydroxides, or pure metals depending on specific operating parameters and on the characteristics of the incoming fluid.

To evaluate the metal abatement percentage, we analyze the wastewater pre-and post-processing, via X-Ray Fluorescence (XRF) technique. We test different baths at different pH conditions; such tests are designed to obtain the maximum metal abatement and evaluate the possibility of selectively directing the process to the synthesis of metallic compounds or other species (e.g., oxides), and further adjust the synthesis parameters to increase the yields and the throughput of the process.

In the case of Ru, if only KOH was used as an additive, a substantially complete abatement

of the Ru is obtained (99.1 and 100%). The solids recovered with these strategies have been identified as zero-valent Ruthenium via X-Ray Diffraction (XRD). Similar results were obtained for Au (91.1% abatement) and Pt (99.8%), showing that supercritical precipitation is an effective, efficient, and sustainable process for the recovery of precious metals.

With supercritical water precipitation process, it is also possible to significantly reduce cyanides as a beneficial side effect, as further explained in the next section. In our case studies for Copper Cyanide Plating Bath and Silver Cyanide Plating Bath, the cyanides abatement is respectively 99.8% and 98.2%, while the metal abatement is 99.1% and 97%.

In Table 3 some case studies of different materials with different bath concentrations are reported, with their cyanides and metal abatement. **Tab. 3** - *Summary of different baths processed via supercritical precipitation. Their metal and cyanides abatements are reported.*

| Bath Type | Metal pre-treatment (ppm) | Metal post-treatment (ppm) | Metal Abatement (%) | Metal Recovered Form | Cyanides pre-treatment (ppm) | Cyanides post-treatment (ppm) | Cyanides Abatement (%) |
|---|---------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Acidic Copper Plating Bath | 41264 | 7 | 99,9 | CuO | - | - | - |
| Copper Cyanide Plating Bath | 18400 | 43 | 99,1 | CuO | 14850 | 7 | 99,8 |
| Alkaline Copper Cyanide-Free Plating Bath | 13726 | 52 | 99,2 | Cu₂O | - | - | - |
| Bright Ni Plating Bath | 53800 | 66 | 99,5 | NiO | - | - | - |
| Cr(III) Plating Bath | 11279 | 9 | 99,7 | Cr₂O₃ | | | |
| Bronze (Cu, Sn, Zn) Plating Bath | 2297, 1181, 363 | 20, 45, 44 | 96,5, 84,8, 51,5 | CuO with inclusions | 8250 | 1 | 99,9 |
| Titanium Acidic Wastewater | 26571 | 2 | 99,9 | TiO₂ | | | |
| Silver Cyanide Plating Bath | 28670 | 107 | 97 | Ag | 42135 | 94 | 98,2 |
| Acidic Ruthenium Plating Bath | 2880 | 6 | 99,1 | RuO₂ | - | - | - |
| Palladium Plating Bath | 4707 | 18 | 99,3 | Pd | - | - | - |

Segue

| Bath Type | Metal pre-treatment (ppm) | Metal post-treatment (ppm) | Metal Abatement (%) | Metal Recovered Form | Cyanides pre-treatment (ppm) | Cyanides post-treatment (ppm) | Cyanides Abatement (%) |
|--|---------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Rhodium Rinsing Bath | 722 | 1 | 99,9 | Rh | - | - | - |
| Platinum Plating Bath | 3510 | 2 | 99,8 | Pt | - | - | - |
| Gold Rinsing Bath | 740 | 23 | 91,1 | Au | - | - | - |
| Silver Acidic Leaching Liquor (Ag, Cu) | 28927, 56049 | 370, 5 | 90.1, 99.9 | Ag + CuO | - | - | - |

2.3. Copper Cyanide case study

Cyanide toxicity and its environmental impact are well known. Nevertheless, they are still used in the mining, galvanic and chemical industries, therefore very present in wastewaters. Cyanides are released into the environment from wastewaters in various forms, which determines their destiny within the environmental means of their transport toxicity and ecotoxicity; they can be present in water, soil, and air exhaled, leading to unpleasant side effects both in humans and the environment [5]. Removing cyanides from the galvanic wastewaters is, therefore, a priority to improve sustainability.

The bath we processed came originally as a colorless liquid with white precipitate on the bottom and was then filtered. The measured pH value was found to be 13.4.

In this case, the bath was then treated at 430°C and 230 bar using as chemical modifiers different combinations of KOH (mixed in line with the wastewater) and H₂O₂ 0.5M dosed in the supercritical water stream. This combination allows to reach excellent results with Copper Cyanide-based baths: the hydrogen peroxide decomposes into O₂, which is promptly dissolved thanks to the high pressure and the low dielectric constant of water in supercritical conditions, providing an excellent oxidizing powder to transform CN⁻ in cyanates. Nevertheless, Copper cyanide complexes are very stable and, from our previous studies we have noticed that adding a strong base, breaks down these compounds and improves both cyanide oxidation and copper precipitation.

The following tests were made on the baths, and their results are reported in table 4.

1. Bath as received, KOH 2.0M (Wastewater- Modifier Flow Ratio - WMFR 50:50), H₂O₂ 0.5 M in Supercritical Water (SCW), 420°C
2. Bath diluted to 50%, KOH 2.0M (WMFR 50:50), H₂O₂ 0.5 M in SCW, 420°C
3. Bath diluted to 25%, KOH 2.0M (WMFR 50:50), H₂O₂ 0.5 M in SCW, 420°C
4. Bath diluted to 50%, KOH 3.0M (WMFR 50:50), H₂O₂ 0.75 M in SCW, 420°C

| Entry | Cu [ppm] | TOC ^a [ppm] | CN Tot ^a [ppm] | Cu Abat. [%] | TOC Abat. [%] | CN Abat. [%] |
|--|----------|------------------------|---------------------------|--------------|---------------|--------------|
| Bath pretreat. | 85023 | 60800 | 130677 | - | - | - |
| 1 | 3731 | 4500 | 1073 | 82.4 | 70.4 | 96.7 |
| 2 | 1261 | 1530 | 406 | 88.1 | 80.0 | 97.5 |
| 3 | 48 | 1070 | 7 | 99.1 | 71.8 | 99.9 |
| 4 | 1073 | 1760 | 429 | 90.0 | 76.8 | 97.4 |
| ^a Analysis performed in external certified laboratory | | | | | | |

Tab. 4 – Results of the tests.

After that, the bath was processed and the obtained solid separated, the supernatant was analyzed via XRF to calculate the metal abatement. The value [ppm] is measured on the liquid coming from the plant.

However, the effect of dilution was considered in the calculation of abatement efficiency [%]. The dilution is determined by three different volumes:

- The volume of wastewater to be treated.
- The volume of supercritical water needed to obtain the process conditions (typically this stream is equal to the wastewater one), resulting in a 1:2 dilution.
- The volume of chemical modifiers (acid, base, or oxidant), mixed in-line by a secondary pump, possibly added to the volume of wastewater to be treated.

The ratio between the flows of wastewater and modifiers mixed in-line has been defined as Wastewater-Modifier Flow Ratio (WMFR). A higher WMFR implicates a lower dilution, which means less outlet volume and higher hourly productivity, but it may result in a lower abatement yield since the local concentration of the modifier is lower. On the other hand, a lower WMFR allows to reach higher yields, but it slows down the process because of the higher dilution of the wastewater. WMFR is optimized on the basis of several parameters that are process specific, such as i) the presence or absence of further downstream treatment, ii) the desired chemical state of the SRM, iii) the desired concentration of different species in the effluents, iv) the hourly output of the process, and iv) the overall efficiency of the process.

For these tests, it was chosen a conservative WMFR 50:50. However, the WMFR and concentration of chemical modifiers can be optimized in order of reducing treatment time and cost. Considering the high metal cyanide bath concentration, the bath was treated with the standard protocol and progressively diluted, in order to increase the efficiency; indeed, the test with the bath as received resulted in a fairly low 82.4% in Cu abatement, even if the Cyanide reduction was found to be excellent (96.7%).

With an iteration process of different tests and additive compositions, we found that by diluting the bath to 50% and 25%, the outcome yield was increasing, reaching 88.1% and 99.1%, respectively. This behavior indicates that the initial low yield is ascribed barely to the high metal concentration and not to any interference from chemical compounds. The bath dilution helps in cyanides destruction as well: the reduction in entries 2 and 3 was 97.5% and 99.9%, respectively (see table 4). Diluting the bath to 25% is not optimal, since it causes a throughput drop and large volumes as plant output. Typically, the reasons behind such behavior could be a low concentration of chemical modifiers (e.g., there is not enough base to break down the cyanide complex) or the heat transferred from supercritical water stream to reactants is not sufficient to precipitate all the metal ions. Hence, a further test with a dilution of 50% was carried out increasing the chemical modifiers concentration by 50%. A performance

improvement was observed, but the small entity of the enhancement indicates that it is most probably necessary to process the bath at higher temperatures.

Finally, the Total Organic Content (TOC) destruction was monitored as well: typically, this is considered a beneficial side effect, since the results are extremely dependent on the involved substances. As can be seen from table 4, the TOC destruction span from 70 to 80%, depending on the experimental run.

The recovered solid was dried in an oven overnight at 80°C. The powders were analyzed via XRD for phase identification, resulting in pure CuO; the estimated size via the Scherrer equation is 26 nm.

3. Conclusions

The supercritical water precipitation process was explained and found to be a good alternative to increase the sustainability of the wastewaters management, especially from galvanic plants. The metal abatement was found to be very high (99.9%) and as a beneficial side effect, also TOC, cyanides, and other toxic compounds are reduced or even zeroed. In the case study presented, copper cyanide baths, tested at different dilutions, yielded a 99.1% metal abatement and a 99.9 Cyanide abatement.

Bibliography

- [1] Mosconi, D., Blanco, M., Ran, J., Sturaro, M., Bersani, M., & Granozzi, G. (2021). "Selective and scaled-up continuous flow synthesis of manganese oxide nanocatalysts for single electron transfer reactions." *Chemical Engineering Journal*, 417, 129063.
- [2] Alekseev, E. S., Alentiev, A. Y., Belova, A. S., Bogdan, V. I., Bogdan, T. V., Bystrova, A. V., ... & Shalygin, A. S. (2020). "Supercritical fluids in chemistry." *Russian Chemical Reviews*, 89(12), 1337.
- [3] Adschiri, T., & Yoko, A. (2018). "Supercritical fluids for nanotechnology." *The Journal of Supercritical Fluids*, 134, 167-175.
- [4] Darr, J. A., Zhang, J., Makwana, N. M., & Weng, X. (2017). "Continuous hydrothermal synthesis of inorganic nanoparticles: applications and future directions." *Chemical reviews*, 117(17), 11125-11238.
- [5] Jaszczak, E., Polkowska, Ż., Narkowicz, S., & Namieśnik, J. (2017). "Cyanides in the environment—analysis—problems and challenges." *Environmental Science and Pollution Research*, 24(19), 15929-15948.

CIRCULAR BIOCARBON: Turning carbon of complex organic urban waste streams into value-added products

*Natalia Alfaro nalfaro@urbaser.com, María Luisa Álvarez mlalvarezc@urbaser.com
Urbaser, Spain*

Summary

A high number of waste treatment facilities in the EU are directed towards the biorefinery approach, which seem to offer potential market opportunities in terms of availability of municipal organic waste and sewage sludge as raw materials. The Circular Economy Action Plan have stated the beginning of the EU's transition from linear to circular economy at global level, and the European project, CIRCULAR BIOCARBON, presented here, was born with the aim of implementing the circular economy concept into a path full of market opportunities by its "from waste to resource" model.

Riassunto

Molti impianti di trattamento dei rifiuti in Europa sono orientati al modello della bioraffineria, che sembra offrire potenziali opportunità di mercato in termini di valorizzazione di rifiuti organici urbani e fanghi di depurazione come materie prime. Il Piano d'Azione per l'Economia Circolare ha sancito per l'Europa l'inizio della transizione da un'economia lineare ad una circolare con prospettive globali e il progetto europeo CIRCULAR BIOCARBON, qui presentato, è nato con l'obiettivo di diffondere il concetto di economia circolare in un percorso ricco di opportunità di mercato attraverso il modello "da rifiuto a risorsa".

1. Introduction

On the one hand, and regarding the municipal organic waste production, European production of municipal solid waste amounted 505 kg per capita in 2020 and only 48 % of them was recycled (material recycling and composting) in the same year [1]. In the same year, total Sewage Sludge (SS) production in the EU amounted 296 kg per capita [2]. Currently, the amount of municipal solid waste generated worldwide are approximately 1.3 billion tonnes per year, and are expected to increase to around 2.2 billion tonnes per year by 2025, representing an appreciable increase in per capita waste generation rates (from 1.2 to 1.42 kg per person per day in the next 15 years) [3]. In the case of SS, only in Europe its generation rate is estimated to reach around 10 million tonnes per year by 2030 [4]. Currently, a high number of waste treatment facilities in the EU are not able to meet the objectives of the new waste and water directives. The concept will be canalised through a suitable business plan and detailed market analysis, so that it may be used to revamp existing waste facilities to enable compliance with current and upcoming directives, while at the same time the facilities are directed towards the biorefinery approach.

On the other hand, considering opportunities, the global market for biorefinery technologies is estimated to grow at CAGR of 8.1% for the period of 2020-2025 [5] and it has been re-

ported almost 21,000 waste facilities in Europe where any kind of recovery other than energy is carried out [6].

The conditions seem to offer potential market opportunities in terms of availability of raw materials (municipal organic waste) and the necessity of renovating already existing waste and wastewater facilities. Therefore, it is a necessity and a gap in the market that could be fulfilled. The Circular Economy Action Plan have stated the beginning of the EU's transition from linear to circular economy at global level, using its influence, expertise and financial resources to implement a sustainable growth of such raw materials in the market [7]. In this context, CIRCULAR BIOCARBON Project was born with the aim of turning this new circular economy concept into a path full of market opportunities.

2. Report

2.1 Context and main challenge

Even though the recycling of waste has improved a lot in the past decades, municipal solid waste still contains a large part of organic fraction that is not used efficiently but rather incinerated with the municipal solid waste or sent to landfills.

Through the concept of a biorefinery, the Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW) can be managed more efficiently in terms of circular economy. In this context, European activities goes towards creating circular bioeconomy ecosystems through investments, innovation and *know-how* in order to make bio-based businesses and innovations profitable and marketable. The “bio-based project” CIRCULAR BIOCARBON contributes in making all of this possible, by its “from waste to resource” model.

2.2 CIRCULAR BIOCARBON project

2.2.1 About the project

CIRCULAR BIOCARBON (Fig. 1) presents a first-of-a-kind flagship biorefinery conceived to valorise OFMSW and SS into high added-value products. The biorefinery will manage those wastes more efficiently, by creating green bio-based materials and marketable end-products for industries and consumers through a pool of cascading innovative technologies.



Fig. 1 – CIRCULAR BIOCARBON logo

The Project, running from 2021 and coordinated by the global environmental manager Urbaser, involves 10 more partners from five European countries (Spain, Italy, Denmark, France and Germany), meaning: Socamex, CAP, CEMECON, Graphenea, NOVAMONT, AGRO INNOVATION INTERNATIONAL, ICLEI, University of Vic, University of Valladolid and Marche Polytechnic University.

CIRCULAR BIOCARBON will replace fossil alternatives using local organic waste streams

as a sustainably sourced feedstock by an overall budget of 22.952.297,50 €, with an EU contribution of 14.999.999,75 €, through the Bio-based Industries Joint Undertaking (BBI JU) funding.

CIRCULAR BIOCARBON aims to obtain bio-based materials as a variety of intermediate and end-products in order to, not only open up the market for new business frameworks in terms of circular economy, but also, to support the new Circular Economy Action Plan for Europe by demonstrating the feasibility, at a commercial level, of a biorefinery of this kind. In this context, the project represents a milestone for Europe, both in terms of its implementation scale (industrial level) as well as for its replicability potential.

More information about the Project can be found in CORDIS [8] and in the Project website [9].

2.2.2 CIRCULAR BIOCARBON biorefinery and replicability

In the CIRCULAR BIOCARBON biorefinery, the OFMSW and SS, after pre-treatment processes, will be processed through a pool of cascading technologies (biological, physical, chemical and mechanical ones) and steps, starting from anaerobic digestion process, allowing to obtain high-added value products (Fig. 2), moving towards new models based on a new circular sustainable bioeconomy.

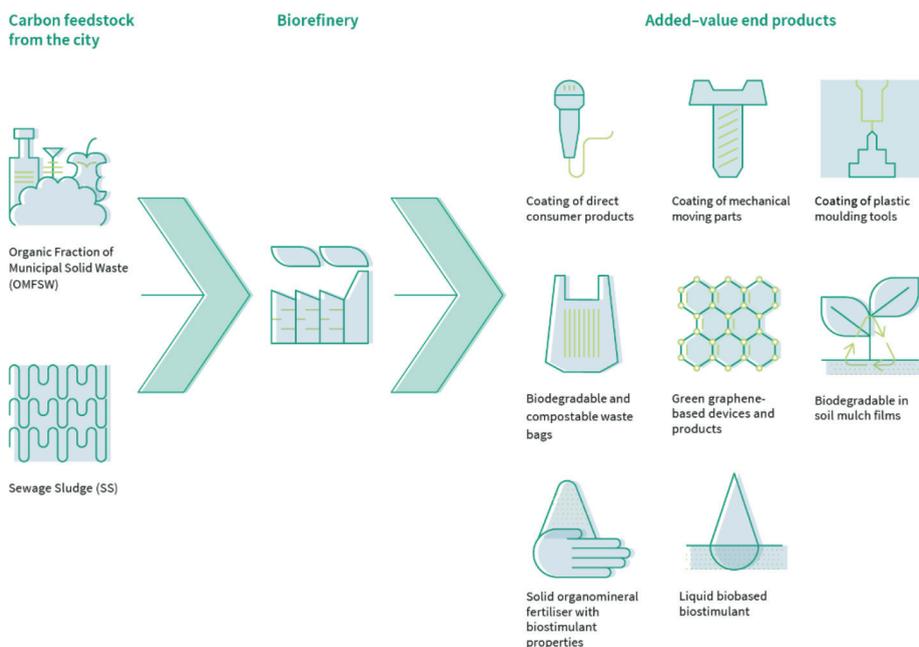


Fig. 2 – CIRCULAR BIOCARBON biorefinery scheme

The biorefinery of the project is designed following a unique and integrated model in which the process lines will be implemented in two different locations (Zaragoza – Spain and Sesto San Giovanni – Milan, Italy) for logistical, customer, and market reasons (Fig. 3).



Fig. 3 – Implementation locations of CIRCULAR BIOCARBON biorefinery.

The multi-location implementation supports and ensures the replicability of the concept by testing it against different waste management schemes, ecosystems and practices in different territories. This also helps replication potential by other cities, as well as targeting preferred markets and acquiring key customers faster in each country.

CIRCULAR BIOCARBON look at obtaining final results to be replicated in other European cities. For this reason, the project counts on a workpackage focused on the replicability and exploitation. One of the tasks under this workpackage is the performing of city replication and exchange network by means of the City Interest Group.

The group will closely follow developments within the project, and will learn from the CIRCULAR BIOCARBON goal, results and the technical expertise of Consortium partners to potentially adopt a similar approach to waste management in their cities. For this purpose, City Interest Group members will benefit from:

- 4 study visits in Zaragoza (ES), Saint-Malo (FR) and Sesto San Giovanni (IT)
- 2 full-day replication and training workshops to consolidate the tools and knowledge needed to pursue replication of the project approach
- 2 City Match Exchange events for in-depth discussion and learning between the group and project partners
- Webinars on several topics related to bio-waste valorisation

2.2.3 CIRCULAR BIOCARBON and the industrial and primary sectors

Bio-based industries are part of the climate solution, and CIRCULAR BIOCARBON biorefinery will contribute to provide bio-based materials to industries boosting and contributing towards their transition to be bio-based.

Nowadays, the agricultural sector still applies many petroleum-derived and inorganic chemical-derived products in soils. Three end-products of the project will be obtained to be used in the primary sector, which are a greener alternative when comparing with the current existing ones. This project offers to primary sector the benefit of replacing synthetic materials by natural biopolymers, organic matrix, biomass-based and N-based/P-based products with agronomic interest/value. In addition, this important sector will have the opportunity of using very high quality bio-products, which will be completely customized, according to the specific needs of the crops in each location.

As mentioned before, CIRCULAR BIOCARBON is a *flagship* project, and thus, the scale of implementation will be at an industrial level, which will facilitate the demonstration of these “green” benefits in a real environment by giving precursors of biopolymers as building blocks, components of biogas and biogas-derived high quality materials. Biorefinery pro-

cesses are more environmentally friendly and generally cheaper than conventional oil-based processes, increasing the overall sustainability of the carbon and nutrient recovery process. Furthermore, this project will give to the industrial sector the opportunity of changing and turning to a new environmentally conscious vision and increasing the added-value of their products/industrials processes and their improving their reputation in the market. Overall, the project will undoubtedly support not only the primary sector, but also, the industrial ones in its progress towards the circular economy and sustainability, as they are the *keyplayers* for bringing the whole CIRCULAR BIOCSRBN concept to the market.

2.2.4 Expected impacts

Several environmental, economic and social impacts are envisaged (Fig. 4)

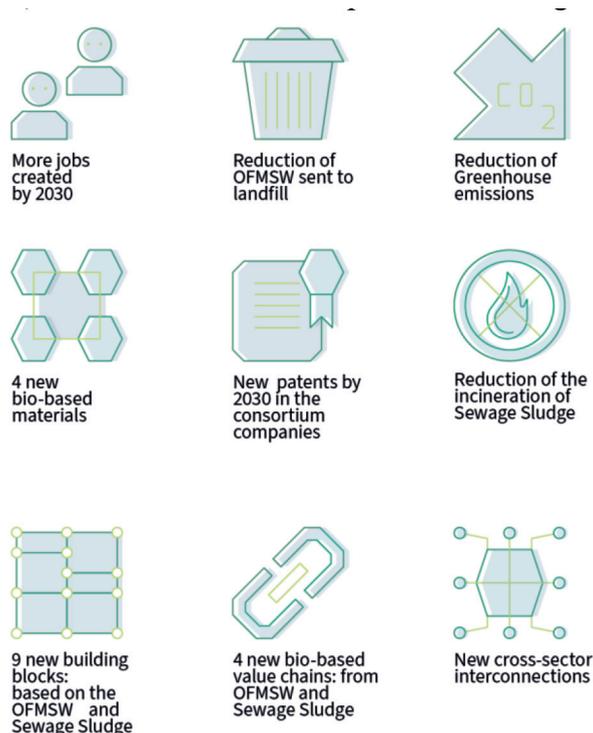


Fig. 4 – Expected impacts of CIRCULAR BIOCARBON biorefinery

Concerning environmental impacts, by obtaining 9 new building blocks, 4 new bio-based materials and 8 final products with high added value from organic waste in the cities, means reducing dependence on oil and giving a second life to the collected organic waste, in order to valorize it or increase its added value. Therefore, it is expected to obtain an increase in the overall resource efficiency, a reduction of quantities of OFMSW routed to landfill and incineration, a reduction of greenhouse gas emissions, among others.

With regards to the economic impacts, some examples could be an increased added-value to bio-based products resulting from underutilised feedstocks, increase income and business opportunities for stakeholders and actors in the bio-based sectors, in particular in the collecting, management and treatment of OFMSW. Furthermore, biorefineries as in this project offers more environmentally friendly and generally with lower costs processes than conventional oil-

based ones, increasing the overall sustainability of the carbon and nutrient recovery methods. On the other hand, the project establishes 7 new cross-sector interconnections between the waste management, water utilities, coatings, electronics, chemical, bioplastics and agriculture sectors. Moreover, industrial-urban symbiosis. As a result of that, the project will lead the opportunity of developing new patents in the consortium companies in the future.

Some social impacts of the Project would be the creation of new job opportunities in the bio-based sector, particularly in the rural and urban areas, and the retaining and developing of new skills. CIRCULAR BIOCARBON will offer citizens an alternative of waste management that will generate wealth and employment through techniques that respect the environment. In addition, it will promote the awareness of the population towards ways of using waste and its application in different market sectors. Given these good practices of citizens, in turn, it will be possible to guarantee changes in decision-making for new management models and policies, as well as compliance with the European objectives of promoting the circular economy.

The industrial scale of CIRCULAR BIOCARBON will facilitate the implementation of these environmental, economic and social benefits in a real environment.

Other impacts could be oriented to benefits to Europe and its society due to the progressive transformation of waste management plants, the awareness raising and the enhancing of the innovation capacity. As an example of this, the project is aligned with the Circular Cities and Regions Initiative (CCRI) and will collaborate in the implementation of the European Green Deal, the European Union bioeconomy strategy (EU Bioeconomy Strategy) and the new Circular Economy Action Plan for Europe.

2.3 Acknowledgement of the funding

This project has received funding from the Bio-based Industries Joint Undertaking (JU) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 101023280. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the Bio-based Industries Consortium.



3. Conclusions

Even though the recycling of waste has improved a lot during the past decades, through the concept of a biorefinery, the OFMSW and SS can be managed more efficiently in in terms of circular economy, avoiding that a high amount of this wastes goes to incineration or to landfills.

CIRCULAR BIOCARBON is a funded project by BBI JU under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme. With the aims of obtaining marketable bio-based materials, the project, will set the basis for advancing towards a new circular vision for bio-waste treatment. This model not only opens up new business frameworks, but also, represents a milestone for Europe, in terms of its implementation scale (industrial level) as well as for its replicability potential in other Europeans countries.

CIRCULAR BIOCARBON will contribute towards the transition of cities, industries and primary sector towards being bio-based, and will represent a new model of organic waste

management to learn about. Furthermore, these sectors will take the advantage of several expected impacts (environmental, economic, and social among others) that are envisaged for the project.

Bibliography

- [1] **Eurostat, 2022** (12nd September 2022). [Eurostat - Data Explorer \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&plugin=1)
- [2] **Eurostat, 2022** (12nd September 2022). [Municipal waste statistics - Statistics Explained \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&plugin=1).
- [3] **Hoorweg, Daniel; Bhada-Tata, Perinaz. 2012**. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Urban development series;knowledge papers no. 15. World Bank, Washington, DC. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>
- [4] **Di Fraia, S., Massarotti, N., Uddin, M. R., & Vanoli, L. (2022)**. Conversion of Sewage Sludge to combined heat and power: Modeling and optimization. *Smart Energy*, 5, 100061.
- [5] **BCC Research. (2021)**. Biorefinery Technologies: Global Markets. [Global Bioproduct Market Size, Share & Growth Analysis Report \(bccresearch.com\)](https://www.bccresearch.com/industry/biorefinery-technologies)
- [6] **Adamsen, C., Blagoeva, T., Iliescu, A. R., Le Den, X., Nielsen, S. S., Valcárcel, F., and Fröberg, M. (2016)**. Legal Assistance on the Application of Public Procurement Rules in the Waste Sector.
- [7] **Circular Economy Action Plan**. For a cleaner and more competitive Europe. https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf
- [8] **CORDIS** (12nd September 2022). [CORDIS | European Commission \(europa.eu\)](https://cordis.europa.eu/).
- [9] **CIRCULAR BIOCARBON website** (12nd September 2022). <https://circularbiocarbon.eu/>

Circular economy as a good answer to crises: the CESME project

*Valeria Stacchini valeria.stacchini@cittametropolitana.bo.it
Città metropolitana di Bologna*

Riassunto

L'impatto della pandemia ha avuto conseguenze economiche e ambientali che le PMI hanno subito, seppur con differenze tra settori, ma ha anche permesso di apprezzare le opportunità offerte dall'economia circolare che può garantire, oltre ad una ripresa più attenta all'ambiente, una maggiore autonomia rispetto all'utilizzo di materie prime e fonti energetiche provenienti da paesi lontani. L'introduzione dell'economia circolare tra le PMI ha però ancora necessità di essere incentivata e promossa a livello di politiche locali ed europee. Il progetto europeo Interreg Europe CESME+, di cui Città Metropolitana di Bologna è partner, ha promosso uno scambio di esperienze tra i partner di quattro paesi europei: Bulgaria, Finlandia, Grecia e Italia, focalizzato sulla valutazione dell'impatto della crisi legata alla pandemia da Covid-19 sulle PMI locali e sullo scambio di buone pratiche per una ripresa più verde e sostenibile grazie all'economia circolare.

Summary

The impact of the pandemic has had economic and environmental consequences that SMEs have suffered, although differently among sectors, but it has also let them to appreciate the opportunities offered by the circular economy that it can guarantee, as well as a recovery more attentive to the environment, greater autonomy with respect to the use of raw materials and energy sources coming from distant countries. However, the introduction of the circular economy among SMEs still needs to be encouraged and promoted by local and European policies. The Metropolitan City of Bologna is a partner of the European project Interreg Europe CESME+, which promoted an exchange of experiences between the partners of four European countries: Bulgaria, Finland, Greece and Italy, focused on assessing the impact of the crisis due to the Covid-19 pandemic on local SMEs and on the exchange of good practices for a greener and sustainable recovery, thanks to the circular economy.

1. Introduction

The price increase caused by the Covid-19 pandemic and the Ukrainian crisis has changed the operating scenario for cities and small and medium-sized enterprises, which are now looking at the circular economy with renewed interest. The trajectory has not yet been reversed, our economies are vulnerable as they depend on raw materials and energy sources located in a small group of countries. The circular economy can make a difference by finding locally the resources that are increasingly difficult and expensive to import, through repair, recovery, eco-design, reuse, recycling and a new concept of ownership.

Ellen MacArthur foundation highlights how the pandemic crisis can be an opportunity to build a resilient and low carbon economic recovery. The circular economy can offer the way for a resilient recovery, creating business and economic opportunities, and at the same time, providing environmental and societal benefits [1]. Furthermore, according to the same Foun-

ation, eco-design, digitisation and decarbonisation will be the cross-cutting threads driving the circular economy, while the sectors most ready to embrace change will be building and construction, plastic packaging, textiles and fashion, agriculture and food production [1].

The CESME project, funded by the Interreg Europe programme, initially started in 2016, with the goal to boost and facilitate SMEs inclusion into circular economy. At that time, in fact, only large companies had begun to explore this new business model, while SMEs – representing the 99% of all businesses in the EU and accounting for 85% of new jobs created over the last years [2] were experiencing more difficulties in adopting such strategies. The main barriers faced by SMEs are due to their more limited organizational, technological and financial capacity, less access to financing and to knowledge. This could limit the speed at which Europe can transit toward a more circular economy [3, 4]. At the end of the project in March 2020, the partnership was successful in engaging more than two hundred SMEs and influencing more than 25 million of funds.

The same month, March 2020, the European Commission, adopted the New circular economy action plan, in the frame of the European Green Deal, to reduce pressure on natural resources and to create sustainable growth and jobs. This is a prerequisite to achieve the EU's 2050 climate neutrality target and to halt biodiversity loss. [5].

In the last two years, however, the operating scenario has changed dramatically. For this reason, CESME's partners have reactivated themselves to enhance the process and further expand the learning process and improve their policies.

2. Circular economy as a good answer to crises: the CESME+ project

The CESME+ project is focused on the promotion of a recovery green and sustainable after Covid-19 crisis, thanks to circular economy, exchanging experience among partners and achieving policy changes that will support the recovery of business and economy sectors.

The partnership – that consists of seven partners from Greece, Italy, Finland and Bulgaria - trust that circularity could be a long-term solution to the pandemic, economic crises and the climate crises.

The experience exchange activities were conducted in different steps. At first, the situation in terms of Covid-19 impacts in the partners' regions and how the regional authorities responded was recorded. In the second phase, the partners identified circular economy good practices for tackling the crisis and recovering from it. Then partners are going to identify lines of work to improve their policy instruments and to facilitate the deployment of the circular economy in this new scenario.

2.1 The Interreg Europe methodology: peer learning and good practices exchange among different European regions

The Interreg Europe projects are based on a learning process that consists in an inter-regional exchange of experiences based on identification, analysis and transfers of knowledges. Through research and analysis of good practices, activation of local stakeholders' networks, and peer learning processes, the partner organizations are creating an environment of opportunities to share solutions and try to improve local policies, in order to secure funds for investment, innovation and to build a more sustainable future for people and European regions, looking in particular at the potential of small and medium-sized enterprises.

The Interreg Europe method is particularly suited to circular economy, which is a collaborative model in the majority, and in many cases, there is need for facilitation. The activation of local groups, as well as comparison with other regions, leads to wider collaboration among different stakeholders: local and regional authorities, research centres, companies, citizens [6].

Before action can be taken, however, it is necessary to know and share information. This is why the first activity carried out by CESME+ partners consisted in the analysis, in their respective countries, - Bulgaria, Finland, Greece and Italy – of the impacts as well as the measures and instruments put in place to mitigate the effects generated by the pandemic, noting the short-term effects and trying to outline the medium to long-term ones.

2.2 The impact assessment report of CESME+: how Covid-19 affected SMEs, circular economy and the environment in the involved regions

Partners made researches in their territories using available statistical data, data from existing researches and administered questionnaires to local enterprises. The effects of Covid-19 pandemic on the local economy and on the environment and how the circular economy entered in the SMEs system were investigated [7].

In all the four countries involved in the CESME+ project (Bulgaria, Finland, Greece and Italy), the accommodation, restaurant and service sectors were mainly affected by the pandemic crisis. The least affected sector was the industry, because in most cases was able to continue to operate almost normally. The Region of South Ostrobothnia, Finland, is the one of the four areas considered that suffered less the consequences and the recovery is at a good point.

The air quality improved a lot at the first semester of 2020, but this was a temporary effect of the closures and restrictions of the pandemic, that scientist call “rebound effect” [8].

The Covid-19 has caused significant changes in the production and consumption of plastics, and in packing waste. The pandemic led to a sudden surge in global demand for personal protective equipment, such as masks and gloves. With the spread of delivery services and take-aways, as well as online shopping, the use of single-use packaging has increased; many shops have also discontinued the use of refillable containers. For example, packaging waste collected in Finland has grown with 16 % from 2019 to 2020 including packaging categories (plastics, cardboard, glass and metal). While disposable plastic products have played an important role in preventing the spread of Covid-19, this trend should have a great impact on the environment and climate. It should also be noted that reduced economic activity has seen sharp falls in global oil prices; this has made it significantly cheaper for manufacturers to produce plastic goods from virgin, fossil-based materials rather than using recycled materials. With the Ukraine conflict, and the difficulty of importing fuel, this phenomenon was reversed. A positive effect noted in Finland, concerns the better sorting of recyclable waste, probably due to the increased time and attention of people during the lock-down. On the contrary, in Italy the amount of unsorted waste increased: this is probably due to the fact that everything that could have been contaminated by the virus had to be placed in the mixed bin for incineration.

The exponential increase in smart working, particularly in Finland and Italy, lead significant environmental positive effect, considerably limiting emissions caused by daily travel. On the other hand, the daily use of public transport decreased, while the use of private cars increased, especially in Greece and Italy. The acceleration towards the digitisation is certainly a positive aspect, which will also certainly have an implication on the possible implementation of circular economy initiatives.

It was noted how people’s need for contact with nature has emerged; this has developed new forms of eco-tourism in rural and mountainous areas.

The data that came out of the questionnaires and the surveys about the SMEs in the four areas involved prove that the circular economy and the sustainable development are considered important in their agenda about the recovery after the pandemic. The enterprises during the pandemic appreciated resources and energy savings. In Bulgaria for the 86% of the respondents to a survey conducted by BAMEE in cooperation with Cluster Sofia Knowledge City and

University of Mining and Geology among 50 companies and organization outlined the interest in green transformation and circular economy: these business models are considered a key tool for competitiveness and provide possibility for overcoming the negative impact on their activities due to Covid-19 crisis. In Finland the majority of interviewed SMEs apply activities related to sustainable development or circular economy and said that pandemic did not have impact on that, some of them have plans to develop sustainability and circular economy. In Greece the majority of interviewed companies answered that they are following some actions of sustainable development and circular economy at the moment and have investment or development plans related to sustainable development or the circular economy.

ART-ER – CESME+ partner - at the end of 2021 administered to about one thousand local enterprises of the manufacturing sector a survey to examine some circular economy aspects and the dynamics of the Covid-19 emergency [9]. The companies interviewed that had experienced a reduction in turnover during the Covid-19 pandemic are more than those that experienced growth, many have already adopted circular economy practices. Enterprises pay particular attention to issues regarding not only reducing waste but also making processes more efficient, using energy from renewable sources and reducing the use of raw materials. Many enterprises say that in the last 3 years (including the Covid-19 emergency) they produced less waste; the use of recycled material in the production process is still very low for more than half of the companies surveyed. The reasons for this limit are many, but in particular the lack of a reference market at national level and less important the quality of recycled material compared to raw materials have an impact.

The Covid-19 pandemic has produced in the last two years major impacts not only from an economic point of view but also in terms of environmental sustainability: in some cases, these impacts have been positive and negative in others. Companies have mainly been affected by changes due to new working conditions that the pandemic has imposed. The sectors in which significant consequences have been recorded are the transport of goods, home-work journeys, waste production and management, the use of chemicals, the use of packaging and the energy consumption.

2.3 The good practices exchange

As the world is now returning to its pre-Covid-19 bad habits, CESME+ partners are looking for long-term solutions. The partners identified 16 good practices about circular economy that can be included in different categories: research, metropolitan/regional/national framework, cross sectoral clustering and private initiatives. Some of the practices were at policy level (metropolitan/regional/national) and presented initiatives to promote, at the same time, economic recovery after Covid-19 crisis and circular economy.

Looking at operational practices, significant for creativity in the emergency situation at the beginning of a pandemic, is a Greek example dealing with the production of antiseptics from confiscated ethyl alcohol. Normally confiscated alcohol would be destroyed, but the emergency situation has made it possible to activate circular economy process, involving public and private actors [10].

Among the others, an interesting policy initiative from Finnish partners is the Climate and Circular Economy Roadmap for South Ostrobothnia. To achieve the carbon neutrality by 2035, the roadmap plans 126 concrete actions. Within the project, an operational model for the region's climate work was set up, and a wide group of local actors were engaged in the process. To prepare the roadmap an expert group was established, with representatives from business, research, education organizations and the public and third sectors [11].

2.4 The Metropolitan city of Bologna and its actions to promote circular economy

The Metropolitan city of Bologna presented as good practices the “Barresi Award” and the “Covenant for the work and for the sustainable development”.

The “Barresi award” is addressed to young entrepreneurs promoting sustainability and circular economy in their business activities. Among the winners, interesting examples of circular economy emerged in the last edition: an artisanal shop that creates bags with stocks of leather coming from production waste, warehouse inventories and surpluses that otherwise are thrown away and an enterprise that converts milk that is about to expire, otherwise intended for disposal, in cell culture products. The winners, thanks to the cash and in services prizes had the chance to develop and expand their business, networking with the public institutions and with other business realities, broaden their competences and get more visibility. The award is a powerful instrument for the Metropolitan City of Bologna, as it helps in pursuing the Agenda 2030 goals, promoting economic, social and environmental sustainability among young entrepreneurs. It is flexible too: each edition can focus particular needs or sectors; in 2021 the tourism companies were addressed, to offer the possibility to award companies working in one of the sectors most hit by the pandemic [12].

The “Covenant for the work and for the sustainable development” a pact born to contribute to a timely response to the emergency situation from Covid-19 and to select some strategic projects divided into 3 priority clusters for sustainable development and growth: 1. Supply chains, quality of work, training and competences, youth, women; 2. A new challenge of sustainability for the territory regenerates and moves; 3. Well-being, inclusion and contrast to fragility. Cluster 1 includes proposals to promote the circular economy: a pilot action for the transition through the circular economy in the mountain territory was put in place, involving local businesses in a participatory project that created guidelines for enterprises to promote the introduction of circular economy [13].

The Project “Transition to the circular economy in the hilly and mountain areas of the metropolitan city of Bologna” the pilot action cited above, is foreseen in the Agreement with the Ministry of the Environment for the implementation of the Metropolitan Agenda for Sustainable Development 2.0 of the Metropolitan City of Bologna. A working group about circular economy was created, composed of the Presidents and representatives of the Unions of Municipalities that have mountain territories, the GAL Appennino Bolognese, representatives of economic and social forces, ART-ER and Eco&Eco. The identification and promotion of guidelines, incentives and good practices is the core of the project, aimed at the transition to the circular economy of businesses in the hills and mountains [14]. The guidelines, incentives and good practices must consider the specific environmental and territorial peculiarities and have to minimize the consumption of energy and natural resources. Particular attention has been given to the activities of dissemination of good practices and guidelines identified between administrations, trade associations and companies. An experimentation with a panel of administrations and companies, who have applied to do so, is foreseen.

Through the Interreg Europe SINCE-AFC project, the application of the circular economy to the agro-food sector has been deepened [15], and work is now underway to co-develop guidelines for applying circular economy principles to local markets. Through this action it will be possible to affect three different targets: policy makers, producers and consumers.

2.5 Some reflections from the CESME+ learning process

Below are some reflections that emerged from the CESME+ learning process. The analysis of the environmental impacts generated by the Covid-19 pandemic on the production system has highlighted what can be the strengths in terms of environmental sustainability for a company. Circular economy gives greater autonomy to enterprises: the fragility in our global supply

chains and the difficulty of finding raw materials revealed by the pandemic and the Ukraine conflict, emphasized the need for businesses to transition towards a more circular supply chain. But what exactly does this entail? We currently consume 1.75 times the resources that Earth can regenerate within a year [16]. We need for more resilient economic model, and keep materials in “the loop”: short supply chain supplies and industrial symbiosis processes can ensure continuity of production.

Recycling, recovering and reuse instead of wasting crucial resources is a first step. But a deeper revolution is needed: we have to start from the design of product and services [1]. This would help in reducing the use of virgin materials, reducing environmental externalities (from production and supply chain), facilitating reparability and extending the service life. This in turn will also decrease vulnerabilities in the supply chain and increasing the efficiency. Similarly, local production of renewable energy prevents risks of energy interruption, and more in general reinforce the integration between production and consumption.

Moreover, transition to the digital system and dematerialization can reduce the overproduction of packaging and significant use of protective and transport materials for product delivery. Embracing circular economy means also rethinking notions of ownership and sharing, and shifting from resource efficiency to sufficiency [17].

Unfortunately, the responses we are seeing only to a very small extent are going in this direction [18], while it is becoming increasingly urgent to act. To face such crises, it is then very important to be adaptable.

3. Conclusions

Circular economy needs to be promoted through a policy mix that covers the full lifecycle of products [17]. In particular there is need to enforce the entrepreneurial policy and to develop entrepreneurial support instruments; successful industrial policy that prevent negative effects of global crises needs to support not just global but domestic value chains as well, as local network can assure better resilience for the enterprises. More in general there is need to boost investments in innovation (Eurobarometer data confirm that these investments remain low [19], as well as staff qualification.

From the dialogue with stakeholders that took place within CESME+, it is confirmed that the main barriers faced by SMEs are the same as those observed at European level [19]: complexity of administrative or legal procedures, the cost of environmental actions, a lack of supply of the required materials, parts, products or services. The availability of targeted incentives would be a considerable boost circular investment. The role of facilitators is crucial, as it is the strengthening of networks. In particular, collaboration between companies from different sectors is emphasised as particularly important to activate new processes to reuse waste and by-products. It is likewise important to strengthen public-private partnerships. Cities and Regions can play an important role in leverage the circular economy initiatives, acting as promoters, facilitators and enabling place-based solutions [20].

The circular economy is finding fertile ground in the manufacturing sector, but today it is important that this approach is adopted more widely, up-taking also in the service sector; in the tourism sector for example, experience is still limited but opportunities are considerable [21]. Last but not least, international cooperation and coordination is crucial too [17], this is why projects like CESME+ are valuable.

Bibliography

- [1] **Ellen MacArthur Foundation**, *The circular economy: a transformative Covid-19 recovery strategy: How policymakers can pave the way to a low carbon, prosperous future*, 2020
- [2] **Eurobarometer**, *Flash Eurobarometer 456 - TNS Political & Social. SMEs, resources efficiency and green marketing Report*, 2018

- [3] **AA.VV.**, CESME White Book - www.cesme-book.eu/ and www.interregeurope.eu/cesme/ , 2018
- [4] **Stacchini V.**, *SME and industrial symbiosis in Europe: good practices from CESME and SINCE-AFC*, in Beltrani T. La Monica M. (ed.), Best practices on industrial symbiosis in Italy and the contribution of regional policies Symbiosis Users Network – SUN Proceedings of the third SUN Conference Rimini - ENEA 2020 ISBN: 978-88-8286-394-4, November 7th 2019
- [5] **European Commission**, *Circular economy action plan: for a cleaner and more competitive Europe*, 2020
- [6] **Cavallo M., Cencioni D.**, *Identify relevant Stakeholders*, in Circular economy, benefits and good practices, Milano, Edizioni Ambiente, 2017
- [7] **AA.VV.**, Interreg Europe CESME+ “Impact assessment report on Covid-19 on the SME’s sector and the circular economy”, April 2022 <https://projects2014-2020.interregeurope.eu/cesme/library/>
- [8] **Freire-González J., Font Vivanco D.**, *Pandemics and the Environmental Rebound Effect: Reflections from COVID-19*. Environ Resour Econ (Dordr).:1-4. doi: 10.1007/s10640-020-00448-7. Epub ahead of print. PMID: 32836832; PMCID: PMC7346853, 2020 Jul 9
- [9] **ART-ER** Attrattività Ricerca Territorio, *La transizione ecologica delle imprese in Emilia-Romagna: risultati dell'indagine su alcuni settori del sistema produttivo regionale*, luglio 2022
- [10] <https://www.interregeurope.eu/good-practices/production-of-antiseptics-from-confiscated-ethyl-alcohol>
- [11] <https://www.interregeurope.eu/good-practices/climate-and-circular-economy-road-map-of-south-ostrobothnia>
- [12] https://www.cittametropolitana.bo.it/progimpresa/Premio_Barresi/premiobarresi
- [13] https://www.cittametropolitana.bo.it/portale/Patto_metropolitano_lavoro_sviluppo_sostenibile
- [14] https://www.cittametropolitana.bo.it/agenda_sviluppo_sostenibile/Home_Page/Archivio_news/economia_circolare_nel_territorio_collinare_e_montano
- [15] **Cavallo M.**, *The Enchantment of the Territories and the Circular Economy in Agri-Food Starting from a European Experience*, In “Ecomondo. The Green Technology Expo”, Santarcangelo di Romagna, Maggioli, 2020
- [16] <https://www.overshootday.org/newsroom/press-release-june-2022-english/>
- [17] **OECD**, *Towards a more resource-efficient and circular economy*, 2021
- [18] <https://www.oecd.org/coronavirus/en/themes/green-recovery>
- [19] **Eurobarometer**, *Flash Eurobarometer 498 - TNS Political & Social. SMEs, green markets and resources efficiency Report*, 2022
- [20] **OECD**, *Policy Responses to Coronavirus (COVID19)*. Cities policy Responses, 2020
- [21] **Einarsson S. and Sorin, F.**, *Circular Economy in travel and tourism: A conceptual framework for a sustainable, resilient and future proof industry transition*, CE360 Alliance, 2020

LCA of Concrete Made with Recycled Peritoneal Dialysis Plastic as Aggregate Material

Benedetta Copertaro¹ research@newstergroup.com, Rebecca Craine², Evangeline Buckmaster², Jakob Winkler², Vanessa O'Brien², Thomas Pickard², Olivia Flower², Louise Bardwell², Gianluca Magrini¹, Ryan Pike³

¹Newster System S.r.l., Via Pascoli, 26/28 – 47853 Cerasolo di Coriano (RN) – Italy; ²School of Engineering, The Australian National University- Canberra ACT 0200; ³180 Waste Group 4/55 Thurrallilly St, Queanbeyan East NSW 2620, Australia

Riassunto

L'obiettivo del presente studio è quello di valutare l'impatto ambientale, attraverso l'analisi del ciclo di vita (LCA), di un nuovo calcestruzzo realizzato con plastica per dialisi peritoneale (PD) riciclata come materiale aggregato alternativo. L'analisi di LCA è stata condotta utilizzando il software Gabi. I risultati ottenuti per il nuovo calcestruzzo realizzato con plastica per PD riciclata sono stati confrontati con il calcestruzzo generico per l'edilizia realizzato con una miscela di ghiaia, aggregato di sabbia, cemento e acqua. In base alle categorie di impatto ambientale considerate, il calcestruzzo realizzato con plastica per PD riciclata ha comportato un impatto ambientale minore rispetto all'alternativa di incenerire i rifiuti e produrre calcestruzzo con sabbia estratta.

Summary

The aim of the research is to assess the environmental impact, through life cycle analysis (LCA) of a new concrete made with recycle peritoneal dialysis (PD) plastic (Baxter Renal Care) as an alternative aggregate material. The LCA is conducted using Gabi Software, and the results obtained for the new concrete made with recycled PD plastic are compared to concrete for general construction made from the mixture of gravel, sand aggregate, cement and water. According to the environmental impact categories considered, the concrete made with recycled PD plastic implicated a smaller environmental impact over the alternative of incinerating the waste and producing concrete from mined sand.

1. Introduction

Chronic kidney disease (CKD) occurs when the kidneys become damaged and unable to properly filter the blood as they should, allowing wastes to accumulate in the blood and damage other organs [1]. CKD cannot be cured but can be treated through dialysis or kidney transplant. Among dialysis treatments, peritoneal dialysis (PD) involves the surgical insertion of a catheter into the patient's abdomen [2]. Through this catheter, a special fluid known as dialysate flows into the peritoneum where it draws out waste from the bloodstream before being drained from the abdomen. Peritoneal dialysis can be either Continuous ambulatory peritoneal dialysis (CAPD) or automated peritoneal dialysis (APD) [3]. In Australia in 2017 there were a total of 2,427 peritoneal dialysis (PD) patients. Of these patients, 70% performed

peritoneal dialysis at home. In Australia, APD counted for just over two thirds, 67%, of PD in 2017 [4]. Taking an average across all PD patients of four exchanges per day, this amounts to over 3.5 million peritoneal dialyses that are performed throughout Australia each year. For home dialysis patients the typical weight of a cardboard box containing a day’s worth of PD equipment is approximately 6 kg. Assuming use of one of these cardboard boxes for all PD patients, both CAPD and APD, in Australia each day, the total amount of PD waste produced per year is over 5,000 tones, as summarized in **Table 1** below.

| | |
|---|-------|
| Number of Patients | 2,427 |
| Average PD exchanges performed per patient per day | 4 |
| Weight of box containing four sets of PD equipment (kg) | 6 |
| Tons of PD waste per year (t) | 5,314 |

Tab. 1 – *PD Patients and Waste Produced Per Year in Australia [2]*

Therefore, dialysis treatment produces a significant amount of single use plastics (i.e., dialysis tubing, solution bags, silicone tubes, needles, etc.) which contain potentially infectious biological waste from the patient. Typically, disposal is carried out by an incinerator or autoclave that generally do not envisage to “loop” PD waste back into the system to be reused. The Newster Machine (<https://www.newstergroup.com/>) is capable of completely sterilizing dialysis waste using Frictional Heat Treatment (FHT) [5]. This process is also able to reduce the mass and volume of waste significantly. This study has investigated possible alternatives for this sterilized product to divert the large amounts of dialysis waste from landfill. One promising solution for this is to repurpose this material as an aggregate in construction applications, and specifically concrete. This will not only divert the waste from landfill but reduce the environmental impact of collecting sand and gravel for aggregate.

2. Report

2.1 Aim of the Study

The goal of the LCA is to compare the environmental impact of dialysis waste sent to landfill and concrete production to the proposed alternative of redirecting this processed waste to be used as an aggregate in concrete production. More specifically, two product systems will be studied. The first product is peritoneal dialysis plastics. In peritoneal dialysis treatment, patients are provided with one dialysis fluid bag, one dialysis fluid collection bag and interconnecting tubing all contained in a protective pouch. Once treatment is complete, waste fluid is drained, and the bags are disposed of. The full system of bags and tubes is involved in this process; however, this study will focus on the two major constituents of the material, high-density polyethylene (HDPE) bags and polyvinyl chloride (PVC) bags. The second product system considered in this analysis is general purpose concrete for construction. This concrete is made from the mixture of gravel and sand aggregate, cement and water, and used in general purpose applications such as driveways, footpaths and gutters.

2.2 Data Collection

Data on bag materials, weights and supply was collected directly from the PD products supplier (**Table 2 and Table 3**). Data on the Newster machine was collected from the Newster NW15 technical specifications which can be found in **Table 4**. Additional data on numbers of dialysis patients was collected from ANZDATA Registry, 41st Report, Chapter 5: Peritoneal

dialysis. Australia and New Zealand Dialysis and Transplant (**Table 5**). The following values were determined using this information:

| | | | |
|---------------------------|------|----|-----|
| Bag Volume (L) | 2 | 3 | 6 |
| Proportion | 50% | 5% | 45% |
| Bag Mass (g) | 50 | 60 | 90 |
| Average PVC bag mass (g) | 68.5 | | |
| Average HDPE bag mass (g) | 30 | | |

Tab. 2 – Dialysis Material Production

| | | |
|-----------------------------------|----------|-----|
| Days per year | 365 | |
| Units per day | 4 | |
| Units per patient per year | 1460 | |
| Units consumed per year | 3609120 | |
| PVC per year (kg) | 247224.7 | 70% |
| HDPE per year (kg) | 108273.6 | 30% |
| Total plastic waste per year (kg) | 355498.3 | |

Tab. 3 – Plastic Waste Production

| | |
|--------|------|
| Number | 2472 |
| Year | 2017 |

Tab. 4 – Newster Sterilizer Parameters

| | |
|-------------------------|--------|
| Model | NW15 |
| Cycle Time (h) | 0.5 |
| Processing mass (kg/h) | 35 |
| Processing volume (l/h) | 340 |
| Output Volume | 22.50% |
| Output Weight | 72.50% |
| Vessel Volume (l) | 170 |
| Water Consumption (l/h) | 60 |
| Power consumption (kW) | 18 |

Tab. 5 – PD Patients in Australia

2.3 Life Cycle Assessment Methodology

The LCA analysis has been based according to the guidelines provided both ISO 14040 and ISO 14044:2006. The software used for data collection is Gabi LCA software, with mainly conventional inputs available from the default Gabi database. Special inputs data such as the bag materials, weights and supply were collected directly from Baxter International Inc.

2.4 LCA Scope and Functional Unit

As the purpose of this study is the diversion of dialysis waste plastics from landfill, the functional unit (FU) has been selected as the total amount of dialysis waste plastics generated in Australia in a year. Concrete production will be scaled to the equivalent amount of concrete that could be produced from the resulting sterilized plastic residue. This study will look at the full life cycle of both dialysis plastics and concrete, from raw materials acquisition to disposal. Production of dialysis products other than the PVC and HDPE bags will not be considered as they are a minor constituent of the waste and were not a major consideration of any of the activities undertaken in the project. Transport has not been considered in this assessment.

2.5 LCA Inventory

Dialysis bag production has been simplified as the production of HDPE and PVC Sheets. Filling with fluids and tubing is not included in the analysis. Production Volumes are based on the total yearly waste produced in Australia (**Figure 1**). Newster sterilization has been based on mass and energy flows for on a per hour basis for the machine (**Figure 2**). Concrete production was based on EcoInvent database inventory of general purpose 20GPa concrete (**Figure 3a**). A process was built manually so that sand input could be replaced with BPW (**Figure 3b**). Conversion of sand mass to mass of BPW substitute was calculated using the relative densities of the two materials. As the density of the material is hard to determine when in granulated form, the density of silica was compared to that of HPDE and PVC.

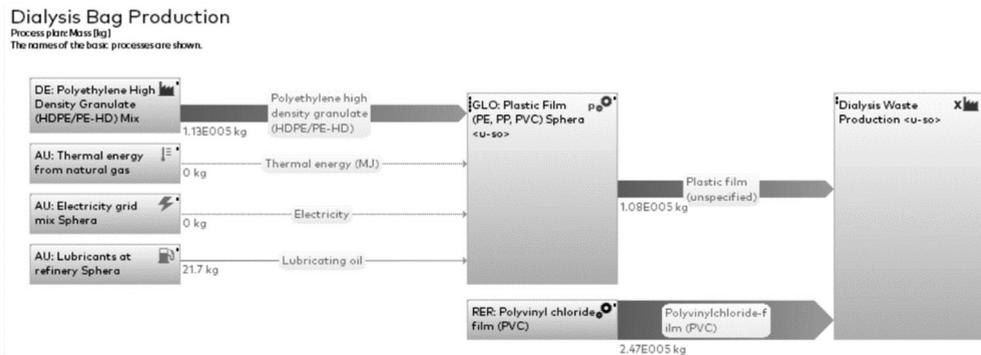


Fig. 1 – Dialysis Bag Production Process

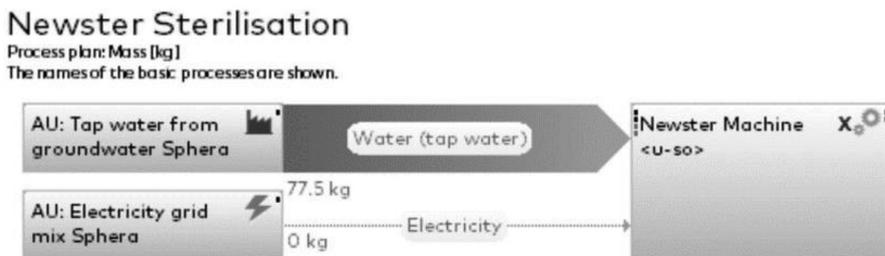


Fig. 2 – Newster Sterilizer Process

It is important that the materials are replaced on equivalent volume basis rather than mass because the purpose of the aggregate is to fill space and plastic granulate is lighter than sand

so, an equivalent mass would not complete the same purpose. The densities of the materials in consideration are listed below: Silica: 2.65 g/cm³; PVC: 1.38 g/cm³; HDPE: 0.97 g/cm³. The mass conversion factor from Sand to plastic was determined using the following calculation:

$$x = \frac{\rho_{PVC} \times \%_{PVC} + \rho_{HDPE} \times \%_{HDPE}}{\rho_{Silica}}$$

$$x = \frac{1.38 \times 0.7 + 0.97 \times 0.3}{2.65}$$

$$x = 0.47$$

This means that to replace 1160kg of sand, 550kg of granulated BPW is required. Using these processes, a product life cycle was created for PVC bags that are sterilized, granulated and used in concrete as an aggregate (Figure 4). This process assumes the ideal situation that the granulated BPW is able to fully substitute sand. This assumption may not necessarily be true. Given that the total amount of concrete that is produced in Australia is over 20 times more than the volume of concrete that could be produced using BPW in a year if all waste were directed into concrete, it can be assumed that there will be enough concrete to uptake the BPW, resulting in the same amount of sand offset overall. The resulting mass of concrete that can be produced with BPW aggregate can be seen in these flows as 1050000kg. This value can then be put into the alternative situation to investigate the impact of not having this sand input offset by BPW (Figure 5).

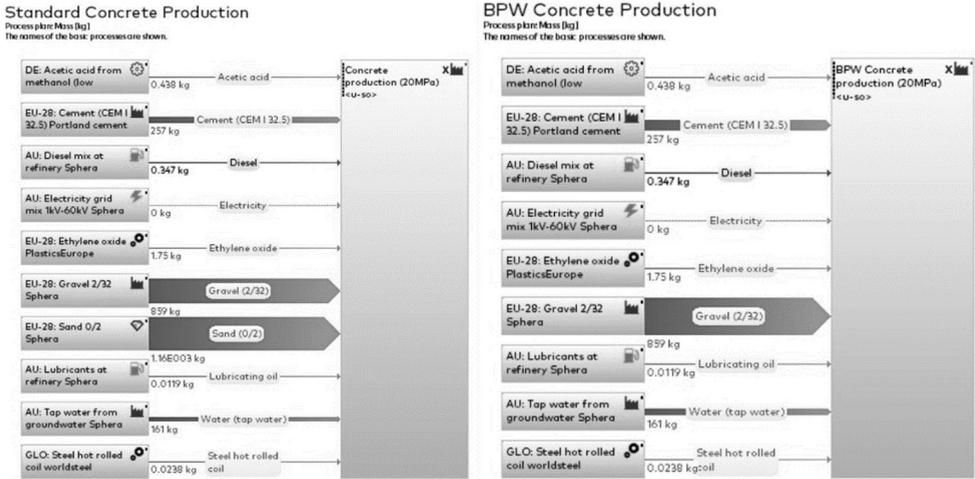


Fig. 3a – Standard Concrete Production Process. Fig. 3b - BPW Concrete Production Process

BPW to Concrete

Process plant: Mass (kg)
The names of the basic processes are shown.

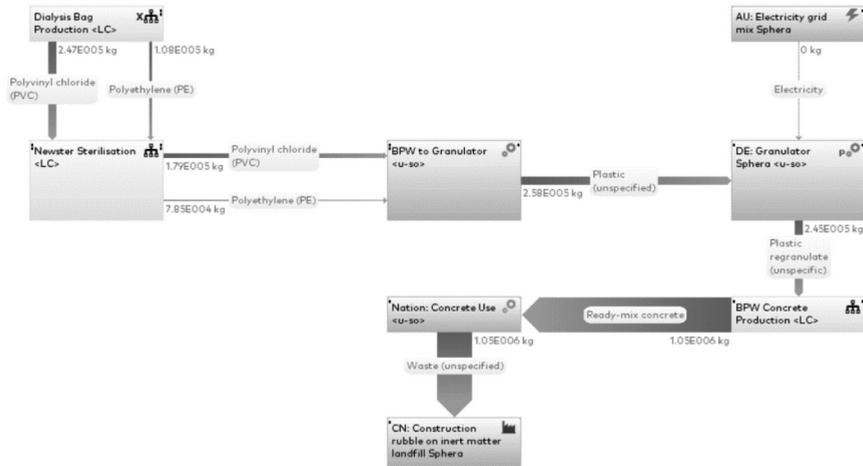


Fig. 4 – BPW sterilized and used in Concrete Plan

BPW to Incinerator and Concrete from Sand

Process plant: Mass (kg)
The names of the basic processes are shown.

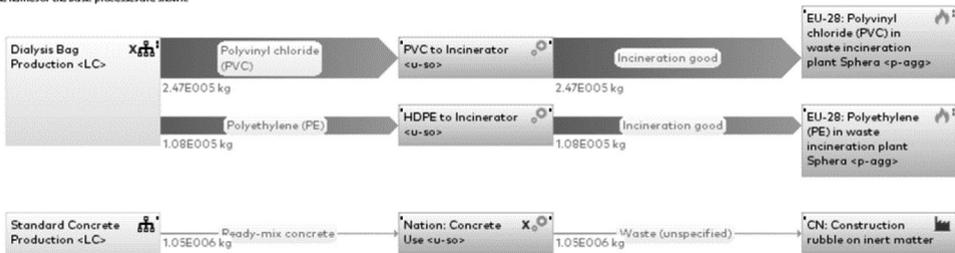


Fig. 5 – Default scenario with BPW incinerated and Concrete from Mined Sand

2.5 LCA Impact Assessment

As can be seen in the results displayed below (**Figure 6**), recycling has a benefit in reducing global warming and ozone depletion impacts, however, the recycling process also has higher acidification and eutrophication impacts. The alternative of reusing the BPW also has significantly lower resource use than mining additional sand to make regular concrete. Although recycling the plastic has lower environmental impacts in some categories, there are also additional processes required in this process that could cause additional emissions.

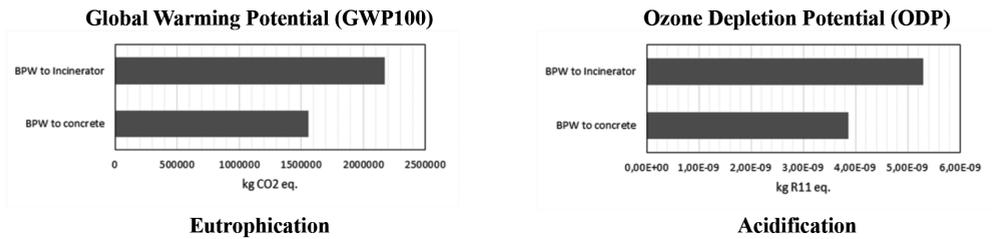


Fig. 6 – LCA Impact Assessment Results

For instance, the processes of sterilizing and granulating the BPW consume both water and electricity. Emissions caused by energy generation for the grid and for supplying water could likely be significant contributors to the higher acidification and eutrophication impacts.

3. Conclusion

The aim of the research is to assess the environmental impact, through LCA of a new concrete made with recycle PD plastic (Baxter Renal Care) as an alternative aggregate material. As preliminary study, it required a number of assumptions and approximations that may lead to some variations in the results of the analysis. For instance, the present study did not include the transport of materials at any stage in the product life cycle. This simplification was taken on due to the lack of information and high variability of the locations of BPW sterilization and transport distances. The results of this study may be used to support the implementation of this initiative in real world applications, and to inform any potential hot spots in emissions of the proposed alternative so that the solution may be improved upon.

Bibliografia

- [1] **B. Krans**, “Dialysis,” Healthline, 14 February 2019. [Online]. Available: <https://www.healthline.com/health/dialysis>.
- [2] ANZDATA Registry, “Peritoneal dialysis,” Australia and New Zealand Dialysis and Transplant Registry, Adelaide, 2018.
- [3] NIDDK, “Peritoneal Dialysis,” National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, 2021. [Online]. Available: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/kidney-disease/kidneyfailure/peritoneal-dialysis>.
- [4] **A. Roumeliotis**, “APD or CAPD: one glove does not fit all,” International Urology and Nephrology, 2020.
- [5] **Emmanuel J and Stringer R** (2007) *Health Care Without Harm, Alternative Health-Care Waste Treatment Technologies - A global inventory*.

Informare i cittadini sulla raccolta differenziata

In maniera smart: il caso junker app

*Noemi De Santis, comunicazione@junkerapp.it
Giunko srl, Bologna*

Riassunto

La suite Junker (mobile app e piattaforma web) è l'assistente virtuale per la raccolta differenziata più avanzata e utilizzato sul territorio italiano. La creazione dinamica di una scheda informativa con materiali dell'imballaggio di un prodotto e relative indicazioni di conferimento a partire dalla referenza univoca del prodotto stesso, il codice a barre, è la principale innovazione dell'app, che ha portato nel tempo alla creazione di un vasto database di oltre 1.7 milioni di prodotti identificati scansionando il codice a barre. Ulteriore elemento distintivo è la geolocalizzazione delle informazioni di conferimento, che variano a seconda del Comune in cui l'utente è localizzato, nel rispetto delle regole locali della raccolta differenziata. L'app si configura dunque come uno strumento agile ed intuitivo che aiuta il cittadino a svolgere una raccolta differenziata senza errori, facilitando la comunicazione su questo tema dal Comune/Gestore della raccolta rifiuti verso i cittadini del proprio territorio.

Summary

Junker suite (mobile app and web platform) is the most advanced and widespread virtual assistant for waste sorting in Italy. By scanning a product's barcode, the app creates an information sheet that includes the materials the packaging is made of and the right disposal information for each part of the packaging. To date, a large database of more than 1.7 million products identified from their barcodes makes Junker leader among the apps for waste sorting. Furthermore, the information given is geolocated, which means that it changes according to the local rules for waste separation of the Municipality the user lives in. The app is a smart and intuitive tool that helps citizens sort waste without mistakes and improves the communication about waste from the Municipality/Waste disposal company towards the population they serve.

1. Premessa

Obiettivo di questo articolo è di mostrare **come l'obbligo normativo di informare i cittadini/utenti sulle caratteristiche del servizio di gestione dei rifiuti del Comune e di coinvolgerli non solo nella comprensione del servizio, ma anche nella consapevole e corretta partecipazione ad esso, attraverso la raccolta differenziata, può essere adempiuto grazie a piattaforme smart fruibili tramite app per smartphone.** Nel caso specifico, esamineremo **Junker app**, una case history indicativa di piattaforma collaborativa dal basso, finalizzata all'empowerment del cittadino/utente in materia di raccolta differenziata ed economia circolare.

2. Il contesto europeo

Nel contesto dell'Unione Europea, il pacchetto di misure sull'economia circolare *"Closing the*

loop - An EU action plan for the Circular Economy” (approvato in via definitiva nel 2018)¹ modifica sei direttive in materia di rifiuti e discariche: la direttiva quadro sui rifiuti (2008/98/CE) e le direttive “speciali” in materia di rifiuti di imballaggio (1994/62/CE), discariche (1999/31/CE), rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche, cosiddetti RAEE (2012/19/UE), veicoli fuori uso (2000/53/CE) e rifiuti di pile e accumulatori (2006/66/CE). I principali obiettivi introdotti riguardano:

- riciclo entro il 2025 per almeno il 55% dei rifiuti urbani (60% entro il 2030 e 65% entro il 2035);
- riduzione dello smaltimento in discarica, che dovrà scendere al 10% entro il 2035;
- riciclo del 65% degli imballaggi entro il 2025 e il 70% entro il 2030;
- particolare rilievo alla prevenzione, con obiettivi importanti per gli sprechi alimentari nell’UE;
- raccolta separata dei rifiuti organici (entro il 2023) e dei rifiuti tessili (entro il 2025).

2.1 Cosa comportano questi obiettivi?

Per la Commissione Europea, “per passare ad un’economia più circolare occorre apportare cambiamenti nell’insieme delle catene di valore, dalla progettazione dei prodotti ai modelli di mercato e di impresa, dai metodi di trasformazione dei rifiuti in risorse alle modalità di consumo: ciò implica un **vero e proprio cambiamento sistemico e un forte impulso innovativo**, non solo sul piano della tecnologia, ma anche dell’organizzazione, della società, dei metodi di finanziamento e delle politiche”. Risulta quindi implicita la necessità – tra le altre – di un poderoso sforzo educativo per **coinvolgere, informare e motivare i cittadini/utenti** in modo da metterli in condizione di:

- effettuare la transizione verso modelli di consumo sostenibili;
- ridurre la produzione dei propri rifiuti;
- ridurre lo spreco alimentare;
- intensificare le pratiche di riuso, scambio, riciclo.

3. ARERA in Italia

In Italia, nel 1995, viene istituita, con la legge 14 novembre 1995, n. 481, l’Autorità di regolazione per energia reti e ambiente. Con la legge di stabilità per l’anno 2018 (legge 27 dicembre 2017, n. 205)² vengono conferiti ad ARERA i compiti di regolazione e controllo anche nel settore dei rifiuti, urbani e assimilati.

Nella legge sopracitata viene anche contemplato il ruolo e l’importanza dei rapporti con i cittadini/utenti. L’articolo 1, comma 527, della sopracitata legge stabilisce che “al fine di migliorare il sistema di regolazione del ciclo dei rifiuti, anche differenziati, urbani e assimilati, per garantire accessibilità, fruibilità e diffusione omogenee sull’intero territorio nazionale nonché adeguati livelli di qualità in condizioni di efficienza ed economicità della gestione[...]”. La predetta disposizione, in particolare, espressamente contempla tra le funzioni dell’Autorità la “definizione dei livelli di qualità dei servizi, sentiti le Regioni, i gestori, le associazioni dei consumatori” (lett. b), nonché la “diffusione della conoscenza e della trasparenza delle condizioni di svolgimento dei servizi a beneficio dell’utenza” (lett. c)³.

In seguito, ARERA, nella Delibera 444/19, Art. 8⁴ stabilisce che “nell’ambito di intervento sono ricompresi gli elementi informativi minimi da rendere disponibili attraverso siti internet, gli elementi informativi minimi da includere nei documenti di riscossione (avviso di paga-

¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>

² <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2017/12/29/17G00222/sg>

³ <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1995/11/18/095G0522/sg>

⁴ <https://www.arera.it/it/docs/19/444-19.htm>

mento o fattura) e le comunicazioni individuali agli utenti relative a variazioni di rilievo nella gestione”.

Come accennato in precedenza, se è ben chiara la necessità di comunicare e coinvolgere gli utenti, non è però ancora evidente che le moderne tecnologie dell'informazione (ITC) rendano possibile non solo comunicare più efficientemente, rapidamente e esaurientemente, ma permettano un'interazione coordinata e continuativa tra tutti i soggetti che vivono nella “città intelligente”. Stiamo parlando di tecnologie accessibili per costi e usabilità che rappresentano un moltiplicatore esponenziale di possibilità, fino a pochi anni fa inimmaginabile.

4. La piattaforma JUNKER

Di seguito si riportano alcune informazioni a carattere tecnologico di una delle piattaforme leader in Italia, Junker, per meglio comprendere l'efficacia dello strumento ed i risultati ottenuti in termini di collaborazione con i cittadini.

4.1 Origine e funzioni

La piattaforma Junker è stata creata da un'innovativa startup, nata a Bologna nel 2014, composta da un team di informatici, con l'**obiettivo di trasformare, grazie alla tecnologia, la raccolta differenziata e i modelli di consumo in attività smart, connesse e intermodali**, facilmente adottabili dai cittadini per mettersi al riparo da dubbi ed errori in fase di conferimento, ma soprattutto per divenire consapevoli e partecipi dell'economia circolare.

4.2 Caratteristiche distintive

- Cloud per un ampio storage di dati (big data) messi a disposizione di tutti gli utenti, gratuitamente.
- **Geolocalizzazione** per precisione delle info erogate a ciascun utente.
- **Partecipazione aperta** a ogni utente per l'ampliamento del database.
- Intelligenza artificiale e machine learning per ampliare costantemente il range degli imballaggi/prodotti riconosciuti e spiegati.
- Accessibilità e multilingua per garantire l'inclusione di tutti in un servizio essenziale.
- **Certificazione AGID** per dare garanzia di qualità del servizio erogato alle amministrazioni clienti.
- **Partnership istituzionali** con i Consorzi dei Materiali (COREPLA, COMIECO, CIAL, RICREA, ECOLAMP, BIOREPACK) per garantire la correttezza delle info erogate.
- Modularità dell'architettura per consentire l'integrazione con altri sistemi software per: tariffazione puntuale, ritiro ingombranti, servizi a chiamata, segnalazioni ambientali, spazzamento, etc.
- Proporzionalità dei costi per garantire l'accesso al servizio anche a Comuni piccoli o piccolissimi (in Italia si stima che il Comune medio abbia circa 7.000 abitanti, mediamente 3.000 utenze, troppo poche per esprimere in proprio un servizio smart).

Tutte queste caratteristiche non solo rispondono a tutti gli indirizzi normativi esaminati in precedenza, in materia di informazione degli utenti, ma vanno oltre, superando anche le disposizioni di alcuni regolamenti proposti da istituzioni, e raggiungendo gli obiettivi di informazione e coinvolgimento dei cittadini/utenti con una efficacia e una completezza ad oggi senza precedenti e inimmaginabili fino a pochissimi anni fa.

Per completezza di informazione basti pensare al solo database degli oggetti riconosciuti e spiegati (componente per componente, materiale per materiale) per un corretto conferimento secondo le regole del Comune in cui si trova l'utente: il **database contiene oggi oltre 1.7 milioni di oggetti classificati** e cresce esponenzialmente. Se si dovesse stampare avrebbe le

dimensioni dei volumi delle vecchie Pagine Gialle, e se ne dovrebbe realizzare una versione per ogni Comune, declinata secondo le regole di smaltimento locali. Pensiamo alla stampa e alla distribuzione a tutte le utenze, o al momento della consultazione prima di dover gettare un prodotto! Sarebbe un'opera colossale, i cui costi in materie prime e risorse umane, ostico all'uso quotidiano e non avrebbe giustificazione economica, oltre che nessuna interattività.

Vediamo a seguire, in maggior dettaglio le caratteristiche del sistema integrato piattaforma in cloud + app mobile + portale web. Alla base del servizio informativo c'è **l'identificazione dei prodotti e la classificazione dei relativi materiali di imballaggio tramite codice a barre o riconoscimento di immagini o dei simboli**, per facilitare la differenziazione dei rifiuti domestici.

Lo scopo è far diventare la raccolta differenziata un'operazione semplice, rapida e naturale, diffondendo la cultura del riciclo e spingendo i cittadini a condividere le proprie conoscenze in materia per consentire a tutti di gettare ogni rifiuto nel bidone giusto.

Junker è fondato sulla costituzione di una base dati di qualità dei prodotti di largo consumo – la prima incentrata sui dati relativi agli imballaggi dei prodotti: materiali, sostenibilità ambientale, criteri di smaltimento.

L'app, sviluppata per tablet e smartphone e declinata sulle piattaforme iOS e Android, è dunque il punto di contatto con il Cittadino/utente che fruisce in tal modo di un servizio completo, interattivo.

4.3 Come funziona?

L'app riconosce il prodotto e indica il corretto conferimento in diverse modalità: tramite scansione del codice a barre del prodotto, o ricerca tra oltre mille categorie, tramite i simboli presenti sugli imballaggi, oppure ancora riconoscendo un oggetto tramite fotocamera.

Grazie al suo database con oltre 1.7 milioni di prodotti e al sistema di geolocalizzazione, fornisce all'utente le informazioni corrette su come smaltire il prodotto in maniera rapida e precisa, in accordo con le regole sulla raccolta differenziata del territorio in cui si trova l'utente stesso. Oltre ai prodotti, l'utente può anche ricercare sulle mappe punti quali isole ecologiche, punti di ritiro/recupero, iniziative di economia circolare, così come consultare il calendario della raccolta porta a porta e ricevere notifiche di esposizione negli orari previsti.

Una sezione specifica contiene news e consigli su buone pratiche di economia circolare e un'altra offre dei quiz per mettere alla prova le proprie conoscenze in materia di sostenibilità: in tal modo, educazione costante e l'empowerment dei cittadini/utenti sono serviti.

Per i Comuni e i gestori, a tendere, c'è la prospettiva di migliorare i propri numeri in tema di quantità di rifiuti, ma anche di avere un ritorno economico maggiore dai vari Consorzi di filiera grazie alla migliore qualità.

Junker è incluso nell'elenco dei fornitori di servizi SaaS (Software-as-a-Service) qualificati da AGID, Agenzia per l'Italia Digitale. La certificazione garantisce che il servizio sia sviluppato secondo criteri minimi di affidabilità e sicurezza, considerati necessari per i servizi digitali pubblici.

4.4 Modello collaborativo

La piattaforma smart verticale su raccolta differenziata ed economia circolare consente la partecipazione standardizzata e coordinata tra:

- **gli utenti:** hanno a disposizione la segnalazione di prodotti mancanti in database, le segnalazioni ambientali, la segnalazione di punti di interesse, la segnalazione prodotti destinati al riuso).

- **i Gestori:** possono dare info sulla variazione del servizio, possono erogare questionari e survey in app, oltre a comunicare calendari, raccolte speciali, info sul servizio, prenotazioni ritiro ingombranti, calendari di spazzamento, etc.

- i **Comuni**: rispettano gli impegni di informazione e educazione del Regolamento Comunale, danno feedback immediati agli utenti, possono inviare messaggi su risultati o eventi comunali, possono attivare campagne con le Scuole, etc.
- i **Consorzi di Filiera**: hanno a disposizione un canale aggiuntivo verso utenti altamente sensibilizzati per comunicare eventi e campagne informative, fanno educazione permanente, comunicano i propri risultati.
- i **Partner** di economia circolare: possono mettere i propri punti di raccolta sulle mappe di Junker e mandare info utili o comunicare le proprie campagne di sensibilizzazione (ad es. Humana).
- i Partner tecnologici: possono integrare i propri servizi smart in Junker per raggiungere la propria utenza o un'utenza più ampia (es. servizio tagliacode, PAYT).

4.5 Integrazione con servizi terzi

La piattaforma ha una **architettura software che consente di integrare servizi esterni** che fanno della app uno strumento di partecipazione all'economia circolare completo e versatile, anche a seconda dei territori in cui opera.

- Ritiro ingombranti

L'utente può prenotare il ritiro a domicilio dei propri rifiuti ingombranti tramite app, fornendo i propri dati e descrivendo il rifiuto da ritirare. L'amministratore riceve sul Cruscotto le richieste inviate e le assegna agli operatori competenti, programmando il giorno. A loro volta gli operatori, una volta assegnati i ritiri, potranno organizzare il proprio giro di raccolta.

- Segnalazioni ambientali

Gli utenti possono segnalare situazioni di degrado ambientali tramite foto geolocalizzate. La segnalazione viene inviata al Cruscotto amministratore, in cui gli operatori del Comune possono visualizzare le varie segnalazioni ricevute su mappa e controllare il loro stato di avanzamento della risoluzione. Una volta risolta, l'utente riceve comunicazione dell'avvenuta risoluzione.

- Spazzamento stradale

Ogni utente può controllare in che giorno e a che ora verrà effettuato lo spazzamento per le strade di suo interesse ed evitare così possibili rimozioni del proprio veicolo.

- Bacheca del riuso

Secondo la gerarchia introdotta dall'Unione Europea, la prevenzione rifiuti è lo step più importante nella gestione dei rifiuti. Per questo l'App mette a disposizione dei Comuni una Bacheca virtuale del Riuso, per lo scambio tra cittadini di oggetti in buono stato, ma inutilizzati. Tutti quegli oggetti, in effetti, che possono essere validamente intercettati prima di essere conferiti in ecocentro e avere una "seconda vita", differendo nel tempo trasporto e smaltimento. Sulla Bacheca sarà possibile per gli utenti visualizzare gli oggetti disponibili oppure inserire annunci; una volta entrati in contatto, l'inserzionista e il richiedente avranno modo di gestire liberamente lo scambio fuori della Bacheca, concordando data e luogo del ritiro a propria cura.

- Servizi a chiamata

Con l'obiettivo di stimare la riduzione di emissioni di CO2 tramite azioni di riduzione rifiuti e raccolta differenziata Junker app ha preso parte ad alcune sperimentazioni svolte in Italia sulla base del **modello validato Carbon WastePrint**, nei Comuni di Mompeo (Lazio) nel 2017⁵ e di Terre Roveresche (Marche) nel 2019⁶.

Attraverso strumenti di premialità ed in futuro l'introduzione della tariffa puntuale calcolato sulle emissioni di CO2 il cittadino è incentivato a differenziare con maggiore attenzione.

⁵ Andrea Valentini, Benedetta De Santis, Enzo Vergalito. "Carbon Waste Print: un nuovo metodo di calcolo della CO2 evitata, per sistemi di tariffazione puntuale in base al servizio reso"

⁶ Andrea Valentini, Luca Belfiore, Benedetta De Santis. "Carbon WastePrint - Tariffa puntuale e calcolo dell'impatto prodotto dai mezzi di raccolta. La sperimentazione a Terre Roveresche (PU)"

Nel Comune di Terre Roveresche si è andati oltre, andando ad esaminare le emissioni di CO2 legate alla raccolta e trasporto delle varie frazioni. In questo caso l'App ha integrato il meccanismo a disposizione dei cittadini per comunicare la volontà o meno di conferire una certa frazione, e quindi la necessità o meno di ritirarla. In tal modo, la raccolta è stata monitorata e ottimizzata, creando il percorso migliore e meno impattante dal punto di vista ambientale.

- Survey e questionari

Uno strumento di comunicazione per l'espressione del livello di gradimento del servizio da parte dei Cittadini/utenti è quello dei Sondaggi. I Cittadini potranno infatti accedere alla sezione dal menù Servizi e rispondere alle survey create appositamente dal Comune o dal gestore, così da dare riscontri sul servizio di gestione della raccolta differenziata. Una modalità facile, accessibile e personalizzabile di ricevere dai propri utenti un riscontro sul servizio offerto.

- PAYT

L'App è stata successivamente predisposta per l'integrazione con i sistemi informativi a supporto del processo di raccolta rifiuti per coadiuvare la comunicazione e interazione tra cittadino e gestore della raccolta. In particolare, in quegli scenari – PAYT (*Pay-as-you-throw*) – in cui è necessario dare evidenza al cittadino della correlazione tra costo del servizio e effettiva esposizione dei rifiuti.

All'interno dell'app gli utenti possono autenticarsi per accedere alla contabilizzazione delle proprie esposizioni, dettagli sulla composizione della propria bolletta e/o accesso a servizi correlati: ad esempio richiesta di ulteriori servizi, esposizioni, etc.

4.6 Statistiche e metriche⁷

- Prodotti in database: 1.768.751
- Crescita dei prodotti in database: 2.000/mese
- Utenti totali: 2.487.816
- Ricerche prodotti: 29.276.665
- Segnalazioni prodotti mancanti: 490.486, pari al 28% del totale prodotti in database
- Ricerche punti di interesse: 28.365.168
- Segnalazioni ambientali: 63.650

5. Conclusioni

I cittadini/utenti che possiedono e usano abitualmente uno smartphone sono ormai, anche in Italia, distribuiti lungo tutte le fasce d'età. Con l'arrivo del primo smartphone in 5° elementare (mediamente) e il recente e massiccio ingresso anche della terza età tra i "*social/WhatsApp dipendenti*", è ormai sancito il legame irrevocabile tra la vita quotidiana del terzo millennio e le tecnologie ICT & mobile.

È del tutto auspicabile, quindi, che la potenza e l'immediatezza che mettono a disposizione vengano estese dagli ambiti ludici a quelli funzionali, con l'arrivo di piattaforme abilitanti sempre più numerose e afferenti a vari settori.

Per quanto riguarda la Pubblica Amministrazione centrale, in Italia abbiamo visto a lungo una generale ritrosia a "*scendere in campo*". Ma le app di firma digitale, le app di relazione con i grandi Enti e persino la recente e contestata app Immuni, hanno finalmente "*rotto il ghiaccio*".

Nel caso delle PA locali, invece, si riscontra ancora una generale arretratezza dell'offerta di strumenti evoluti: le app per le relazioni tra Comuni e cittadinanza sono arretrate, statiche, non interattive. Il più delle volte i Comuni si attrezzano con il fai-da-te di enormi catene di

⁷ Dati aggiornati al 2 settembre 2022

WhatsApp e Telegram, con tutti i limiti di funzionalità e/o di sicurezza che si possono immaginare. La case history di molte app nel settore della gestione dei rifiuti dimostrano non solo che gli Italiani sono propensi a usare e collaborare costruttivamente con uno strumento di nuova generazione, ma anche che la PA è pronta a riconoscerne spontaneamente l'utilità e la potenzialità e a farlo proprio, volgendolo a obiettivi pubblici di alto valore ambientale, sociale ed economico.

Bibliografia

[1] COM/2015/0614 final. *"Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy"*. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.

[2] LEGGE 27 dicembre 2017, n. 205. *Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2018 e bilancio pluriennale per il triennio 2018-2020*.

[3] LEGGE 14 novembre 1995, n. 481. *Norme per la concorrenza e la regolazione dei servizi di pubblica utilità. Istituzione delle Autorità di regolazione dei servizi di pubblica utilità*.

[4] DELIBERAZIONE 31 OTTOBRE 2019 444/2019/R/RIF. *Disposizioni in materia di trasparenza nel servizio di gestione dei rifiuti urbani e assimilati*.

[5] **Andrea Valentini, Benedetta De Santis, Enzo Vergalito**. *"Carbon Waste Print: un nuovo metodo di calcolo della CO2 evitata, per sistemi di tariffazione puntuale in base al servizio reso"*

[6] **Andrea Valentini, Luca Belfiore, Benedetta De Santis**. *"Carbon WastePrint - Tariffa puntuale e calcolo dell'impatto prodotto dai mezzi di raccolta. La sperimentazione a Terre Roveresche (PU)"*

Analisi del comportamento dei cittadini nei processi di raccolta differenziata

*Sebastiano Mangiagli sebastianomangiagli@libero.it - Istituto Tecnico Industriale "E. Fermi",
Via Torino n. 137 96100 Siracusa*

Riassunto

Secondo parte della letteratura in tema di consumer behavior, il comportamento del consumatore va interpretato secondo un'ottica cognitivista, rappresentando il risultato di un'interazione tra variabili di natura psicologica, fattori esterni e fattori sociali.

Scopo del presente lavoro consiste nell'applicazione della logica cognitivista all'analisi del comportamento dei cittadini nei processi di raccolta differenziata, nei cui confronti l'attenzione pubblica è cresciuta soprattutto negli ultimi anni. Più specificamente, lo studio si prefigge di indagare le principali motivazioni che inducono i cittadini di Longi (ME) ad effettuare la raccolta differenziata, dato che essi nel 2021, oltre a raggiungere l'obiettivo del 65% di raccolta differenziata dei rifiuti urbani fissato dal D.Lgs. 152/06, sono riusciti a produrre 25,1 kg di rifiuti a testa da avviare a smaltimento.

Summary

According to part of the literature related to consumer behavior, the behavior of the consumer must be interpreted according to a cognitive perspective, representing the result of an interaction between psychological variables, external factors and social factors.

The aim of this work is the application of cognitive aspect to the analysis of behavior of the population in differentiated waste collection processes, with regards to whom public attention has grown in the last few years. More specifically, the study is based on the identification of the main reasons that lead citizens of Longi (ME) to carry out differentiated waste collection, as they in 2021, in addition to achieving the 65% target of differentiated municipal waste collection laid down by Legislative Decree 152/06, they managed to produce 25.1 kg of waste each to be sent for disposal.

1. Introduzione

Fra le tematiche ambientali che negli ultimi anni maggiormente si sono imposte all'attenzione dell'opinione pubblica è da segnalare quella dei rifiuti, la cui attività di riciclaggio è considerata di estrema rilevanza allo scopo di tutelare la salute dell'ambiente e della collettività in un'ottica di sviluppo sostenibile [1, 2]. Secondo l'art 183 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, per raccolta differenziata si intende: «la raccolta idonea, secondo criteri di economicità, efficacia, trasparenza ed efficienza, a raggruppare i rifiuti urbani in frazioni merceologiche omogenee, al momento della raccolta o, per la frazione organica umida, anche al momento del trattamento, nonché a raggruppare i rifiuti di imballaggio separatamente dagli altri rifiuti urbani, a condizione che tutti i rifiuti sopra indicati siano effettivamente destinati al recupero». Sempre il D.Lgs. 152/06 all'articolo 205 ha fissato l'obiettivo del 65% di raccolta differenziata dei rifiuti urbani da raggiungere entro il 31 dicembre 2012.

Il crescente interesse della collettività per le tematiche ambientali è testimoniato dai più recenti

dati che riguardano la crescita della raccolta differenziata in Italia. Nel 2021, infatti, secondo il rapporto sui Comuni Ricicloni pubblicato da Legambiente nel 2022 [3], ammontano a 623 i Comuni i cui cittadini hanno prodotto meno di 75 kg di rifiuti a testa da avviare a smaltimento. Le tre regioni che hanno raggiunto le migliori performance sono state il Veneto, con una percentuale del 28,8% di amministrazioni virtuose sul totale dei Comuni, seguito dal Friuli Venezia Giulia con il 21,9% e dal Trentino-Alto Adige col 21,3%. Per quanto riguarda i capoluoghi di Provincia, è stato il Comune di Belluno a fare registrare il più alto valore di kg pro capite (68,6), seguito da Trento (67,8), Pordenone (65,8) e Treviso (60,1). In Sicilia sono stati nove i Comuni i cui cittadini hanno prodotto meno di 75 kg di rifiuti a testa da avviare a smaltimento; nello specifico, con 25,1 kg pro capite (e col 90% di raccolta differenziata dei rifiuti urbani) è stato il Comune di Longi della Provincia di Messina a posizionarsi al primo posto nella graduatoria regionale davanti a Villafranca Sicula (30,8), Calamonaci (35,5), Lucca Sicula (41,8), San Michele di Ganzaria (65,2), Partanna (66,3), Sambuca di Sicilia (68,1), Altofonte (68,9) e Montelepre (73,7).

Ma la raccolta differenziata è da ritenere un comportamento dettato esclusivamente dalla volontà dei cittadini di tutelare la salute dell'ambiente e della collettività, o esistono altre motivazioni da tenere in considerazione?

Obiettivo del presente articolo consiste nel volere individuare, alla luce dei risultati positivi ottenuti dal Comune di Longi, le principali motivazioni che inducono i cittadini ad effettuare la raccolta differenziata.

2. Relazione

2.1 *Il consumer behavior: un'analisi della letteratura*

Al fine di indagare sul comportamento dei cittadini nei processi di raccolta differenziata, si ravvisa la necessità di partire dall'analisi dei contributi in materia di *consumer behavior* [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Da tale analisi, si desume un'evoluzione cronologica della disciplina:

1) nel periodo compreso fra gli anni '50 e la prima metà degli anni '60, prevalgono gli approcci fondati sul rapporto stimolo-risposta e sul sistema motivazionale dell'individuo;

2) tra la seconda metà degli anni '60 e gli anni '70, gli studi di matrice sociologica mettono in evidenza l'importanza delle pressioni sociali e ambientali sui processi comportamentali dei singoli, creando in tal modo le basi per la psicologia cognitivista;

3) sempre fra gli anni '70 e i primi anni '80, il comportamento del consumatore viene considerato come un complesso processo decisionale che termina con la valutazione post-acquisto;

4) negli anni '80, la psicologia cognitivista si concentra su particolari campi d'indagine, quali la percezione, la selezione, l'interpretazione, la ritenzione e l'utilizzo delle informazioni pubblicitarie;

5) negli anni '90, partendo dalla logica cognitivista si sviluppano tre filoni di ricerca: il primo si sofferma sulle caratteristiche intrinseche del consumatore, il secondo su tutte le variabili legate al prodotto, quali il prezzo, i prodotti sostitutivi, le attività comunicazionali, le politiche distributive, il terzo sui gruppi sociali che influenzano il comportamento del consumatore;

6) allo stato attuale, sta assumendo una crescente rilevanza la prospettiva esperienziale [11], secondo la quale gli individui tengono uno specifico comportamento d'acquisto in quanto spinti non da variabili utilitaristiche e cognitive, ma da quelle affettive ed emozionali.

Fra gli approcci sopra delineati, prevale un'impostazione cognitivista che abbraccia tutti i tre filoni di ricerca sviluppatasi negli anni '90.

Secondo questa prospettiva, implicitamente sostenuta in [4] ed esplicitamente in [12] e [13], il comportamento del consumatore è il risultato di un'interazione tra: variabili di natura psicologica (motivazioni, valori, percezioni, conoscenze, atteggiamenti, intenzioni), fattori esterni (prezzi, prodotti alternativi, campagne comunicazionali [14]), fattori di natura sociale (influenze culturali e familiari).

In base a tale orientamento, l'individuo tiene un determinato comportamento sulla base delle informazioni reperite dall'ambiente circostante ed elaborate mediante processi cognitivi di attenzione, comprensione, memoria ed integrazione. Infatti, quanto viene percepito durante la propria esistenza permane a lungo nella memoria dell'individuo, per potere essere in seguito recuperato in conseguenza di uno stimolo ricevuto dall'esterno, come ad esempio un'attività promozionale. In tal modo il consumatore, tramite una sorta di filtro affettivo, collega uno stimolo ad un processo cognitivo cui seguirà un comportamento [15, 16].

2.2 Indagine sul comportamento dei cittadini del Comune di Longi nei processi di raccolta differenziata

L'approccio cognitivista fondato su fattori psicologici, esterni e sociali è applicabile ai processi di raccolta differenziata, in quanto le motivazioni che possono spingere i cittadini a partecipare a tali iniziative possono essere molteplici:

- 1) sensibilità alle tematiche ambientali,
- 2) timore del giudizio altrui,
- 3) timore dell'applicazione di sanzioni amministrative,
- 4) vantaggi di costo sulle tasse sui rifiuti,
- 5) vantaggi di costo sul *packaging* dei prodotti.

In effetti, si può essere interessati ad effettuare la raccolta differenziata dei rifiuti non solo perché attenti all'ambiente, ma anche per altri motivi [17, 18, 19, 20]: o perché ci si adegua al comportamento degli altri, o perché si teme che il Comune possa adottare delle sanzioni (ad esempio multe) nei confronti di chi non raggiunge una certa quota di rifiuti differenziati, o nella speranza che il Comune, essendo riuscito a vendere i rifiuti riciclabili, ridurrà le tasse, o ancora nella speranza che le imprese produttrici utilizzando confezioni riciclabili possano ridurre i prezzi al consumo.

Secondo quanto precedentemente accennato, i cittadini del Comune di Longi (ME) sono riusciti nel 2021 a produrre meno di 75 kg di rifiuti a testa da avviare a smaltimento, raggiungendo il primo posto nella classifica dei Comuni della Regione Sicilia. Questi risultati sono la conseguenza di una maggiore presa di coscienza della cittadinanza nei confronti dell'emergenza rifiuti, o esistono anche altre motivazioni da tenere in considerazione?

Allo scopo di fornire una risposta a tale quesito, è stata realizzata una ricerca descrittiva [21] e quantitativa [22] fondata sulla raccolta di dati primari. In particolare, alla luce dell'universo di cittadini maggiorenni residenti nel Comune alla data del 1° gennaio 2021, pari a 1.153 unità [23], si è proceduto all'esplorazione dei dati primari mediante l'effettuazione telefonica di un sondaggio monodomanda ad un campione probabilistico stratificato proporzionato formato da 115 soggetti (10% del totale). Il tasso di risposta complessivo si è attestato al 73%. Ciononostante, si è deciso di non procedere alla revisione del campione in quanto le mancate risposte si sono equamente distribuite tra i diversi livelli di stratificazione originaria del campione. La domanda rivolta agli intervistati è riportata nella tabella 1.

| |
|--|
| <i>Qual è la motivazione prevalente che La induce ad effettuare la raccolta differenziata?</i> |
| La sensibilità alle tematiche ambientali |
| Il timore del giudizio altrui |
| Il timore dell'applicazione di sanzioni amministrative |
| L'opportunità di ottenere dei vantaggi di costo sulle tasse sui rifiuti |
| L'opportunità di ottenere dei vantaggi di costo sul <i>packaging</i> dei prodotti |

Tab. 1 – Quesito formulato al campione indagato

Fonte: ns. elaborazione

Per l'estrazione del campione [24] si è innanzitutto tenuto presente che dei 1.153 maggiorenti residenti nel Comune di Longi, 124 appartengono alla fascia d'età compresa fra i 18 e i 25 anni, 295 a quella compresa fra i 26 e i 45 anni, 433 a quella compresa fra i 46 e i 65 anni, 301 hanno un'età superiore ai 65 anni.

In seguito, è stato applicato il metodo del campionamento probabilistico [25] stratificato proporzionato. Con tale metodo:

- la popolazione è divisa in sottogruppi o strati (per fasce d'età);
- il campione si forma estraendo a caso un certo numero di unità da ogni gruppo che è al suo interno omogeneo e alla fine si combinano i diversi campioni così ottenuti creando un campione che risulta in ultima istanza probabilistico.

Tale procedimento ha condotto all'applicazione di quattro proporzioni, da cui deriva la tabella 2 riportata di seguito.

| <i>Fasce d'età</i> | <i>Proporzioni</i> | <i>Sub-campioni</i> |
|--------------------|--|---------------------|
| 18-25 | $1.153 : 115 = 124 : x_1 \Rightarrow x_1 \cong 12$ | 12 |
| 26-45 | $1.153 : 115 = 295 : x_2 \Rightarrow x_2 \cong 30$ | 30 |
| 46-65 | $1.153 : 115 = 433 : x_3 \Rightarrow x_3 \cong 43$ | 43 |
| >65 | $1.153 : 115 = 301 : x_4 \Rightarrow x_4 \cong 30$ | 30 |
| Totale campione | | 115 |

Tab. 2 – *Il campione di indagine*

Fonte: ns. elaborazione

Ne consegue che dei 115 cittadini che compongono il campione, 12 vanno riferiti alla fascia d'età che include coloro che hanno fra i 18 e i 25 anni, 30 hanno un'età compresa fra 26 e 45 anni, 43 fra 46 e 65 anni, 30 sono ultrasessantacinquenni.

Gli esiti dell'indagine sono esposti nella successiva tabella 3.

| | | Motivazione prevalente | | | | | Totale |
|-------------|-------|--|-----------------------------------|--|--|---|---------|
| | | <i>Sensibilità alle tematiche ambientali</i> | <i>Timore del giudizio altrui</i> | <i>Timore dell'applicazione di sanzioni amministrative</i> | <i>Vantaggi di costo sulle tasse sui rifiuti</i> | <i>Vantaggi di costo sul packaging dei prodotti</i> | |
| Fasce d'età | 18-25 | 41,67% | 8,33% | 8,33% | 16,67% | 25,00% | 100,00% |
| | 26-45 | 33,33% | 13,33% | 16,67% | 16,67% | 20,00% | 100,00% |
| | 46-65 | 32,56% | 16,28% | 18,60% | 13,95% | 18,60% | 100,00% |
| | >65 | 30,00% | 16,67% | 20,00% | 16,67% | 16,67% | 100,00% |

Tab. 3 – *Le motivazioni sottostanti il comportamento dei cittadini di Longi nel processo di raccolta differenziata*

Fonte: ns. elaborazione

Secondo quanto contenuto nella tabella precedente, le motivazioni che inducono ad effettuare la raccolta differenziata sono diverse in base alla fascia d'età di appartenenza degli intervistati. Nello specifico:

- per ogni fascia d'età la motivazione prevalente è quella relativa all'ambiente;
 - la quota di cittadini che dichiarano di essere sensibili all'ambiente diminuisce al crescere dell'età;
 - le motivazioni rappresentate dal “Timore del giudizio altrui” e dal “Timore dell'applicazione di sanzioni amministrative” risultano crescenti al crescere dell'età;
 - analogamente a quanto rilevato per la “Sensibilità alle tematiche ambientali”, anche le motivazioni “Vantaggi di costo sulle tasse sui rifiuti” e “Vantaggi di costo sul packaging dei prodotti” crescono in corrispondenza di fasce d'età più basse, anche se con percentuali minori.
- Riassumendo, i dati raccolti hanno permesso di riscontrare il seguente fenomeno, compatibilmente con quanto sostenuto in [26]: *al diminuire dell'età, le motivazioni che inducono i cittadini del Comune di Longi ad effettuare la raccolta differenziata sono sempre più legate alla sensibilità ambientale e ai vantaggi di costo sia sulle tasse sui rifiuti che sul packaging dei prodotti.* In conclusione, non sempre i cittadini effettuano la raccolta differenziata perché ritengono indispensabile la salvaguardia dell'ambiente che li circonda.

3. Conclusioni

Il successo di un programma di raccolta differenziata dipende dall'adesione da parte dei cittadini e, più 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. Ne consegue che i cittadini e le diverse categorie di *stakeholder* coinvolte devono essere corresponsabilizzati, sensibilizzati e ascoltati, vale a dire resi destinatari di piani di comunicazione che li trasformino da meri utenti passivi di un servizio a protagonisti attivi.

L'articolo proposto mette in risalto la circostanza per cui quando un cittadino è chiamato a rispondere ad un programma di raccolta differenziata, egli non è spinto soltanto dalla volontà di migliorare l'ambiente in cui vive, ma anche da motivazioni economiche consistenti in risparmi nel costo della vita (meno multe, meno tasse, minori costi dei beni acquistati).

In sintesi, dalla ricerca in oggetto deriva che gli amministratori comunali e, più in generale, quelli pubblici, nella predisposizione dei propri programmi di comunicazione relativi a processi di raccolta differenziata, dovrebbero esaltare maggiormente le motivazioni legate ai vantaggi di costo sulle tasse sui rifiuti e sul *packaging* dei prodotti.

Bibliografia

- [1] World Commission o4una ricerca esplorativa”, in *Rivista di Studi sulla Sostenibilità*, n. 1, 2012, pp. 79-96;
- [3] Legambiente, “Speciale Comuni Ricicloni 2021”, in *Rifiuti oggi*, n. 1, 2021;
- [4] **D. Dalli, S. Romani**, *Il comportamento del consumatore. Acquisti e consumi in una prospettiva di marketing*, Franco Angeli, Milano, 2009;
- [5] **D.L. Hoffman, M.B. Holbrook**, “The Intellectual Structure of Consumer Research: A Bibliometric Study of Author Citations in the First 15 Years of the Journal of Consumer Research”, in *Journal of Consumer Research*, vol. 19, n. 4, 1993, pp. 505-517;
- [6] **R.W. Belk**, “Studies in the New Consumer Behaviour”, in **D. Miller**, *Acknowledging Consumption*, Routledge, London, 1995;
- [7] **P. Štrach, T. Kincl**, “Beyond Customer Satisfaction: How to Measure Service Excellence”, in *XIV International Business and Economy Conference*, 5-8 gennaio 2015, Bangkok;
- [8] **G. Devetag**, “From utilities to mental models: A critical survey on decision rules and cognition in consumer choice”, in *Industrial and Corporate Change*, vol. 8, n. 2, 1999, pp. 289-351;

- [9] **M.R. Solomon**, *Consumer behavior: buying, having, being*, 8th ed., Prentice Hall, New York, 2002;
- [10] **R. East, M. Wright, M. Vanhuele**, *Comportamento del consumatore. Applicazioni per il marketing*, Apogeo, Milano, 2009;
- [11] **B.J. Pine II, J.H. Gilmore**, *L'economia delle esperienze*, Etaslibri, Milano, 2000;
- [12] **J. Nantel**, "I comportamenti del consumatore", in **F. Colbert**, *Marketing delle arti e della cultura*, (trad. it.), Etaslibri, Milano, 2000;
- [13] **D. Collodi, F. Crisci, A. Moretti**, "Consumer Behavior nei prodotti artistici: una prospettiva di ricerca", in *Atti del Convegno "Le Tendenze del Marketing in Europa"*, 21-22 gennaio 2005, Parigi;
- [14] **M. Lindstrom**, *Neuromarketing. Attività cerebrale e comportamenti d'acquisto*, Apogeo, Milano, 2009;
- [15] **L. Petruzzellis, J.C. Chebat**, *Comportamento del consumatore. Teoria e casi di studio*, Pearson, Milano, 2010;
- [16] **E. Rangaswamy, N. Nawaz, Z. Changzhuang**, "The impact of digital technology on changing consumer behaviours with special reference to the home furnishing sector in Singapore", in *Humanities and Social Sciences Communications*, vol. 9, n. 1, 2022, pp. 1-10;
- [17] **Y. Lan, Q.-H. Zhu, B. Liu**, "A Study of Factors Influencing Consumers' Behavior in Recycling Waste Household Electronic Appliances", in *Ecological Economy*, vol. 6, n. 1, 2010, pp. 68-79;
- [18] **Z. Wang, B. Zhang, J. Yin, X. Zhang**, "Willingness and behavior towards e-waste recycling for residents in Beijing city, China", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, n. 9-10, 2011, pp. 977-984;
- [19] **S. Lee, H.S. Paik**, "Korean household waste management and recycling behavior", in *Building and Environment*, vol. 46, n. 5, 2011, pp. 1159-1166;
- [20] **T. Ramayah, J.W.C. Lee, S. Lim**, "Sustaining the environment through recycling: An empirical study", in *Journal of Environmental Management*, vol. 102, 2012, pp. 141-147;
- [21] **C. Mari**, *Metodi qualitativi di ricerca – I casi aziendali*, Giappichelli, Torino, 1994;
- [22] **T.C. Kinnear, J.R. Taylor**, *Marketing research: an applied approach*, McGraw Hill, New York, 1996;
- [23] <http://demo.istat.it/>;
- [24] **S. Barile, G. Metallo**, *Le ricerche di mercato – Aspetti metodologici e applicativi*, Giappichelli, Torino, 1994;
- [25] **B. Frosini, M. Montanaro, G. Nicolini**, *Il campionamento da popolazioni finite. Metodi e applicazioni*, Utet, Torino, 1999;
- [26] **J.E. Bigné**, "El consumidor verde: bases de un modelo de comportamiento", in *Esic Market*, n. 96, 1997, pp. 29-43.

La transizione ecologica parte dalle scuole? Un approccio didattico all'economia circolare

*Francesca Realini francesca.realini@cobianchi.it, Giuseppa Cucchiara, Angelo Gulotta
I.I.S. "Lorenzo Cobianchi" - Verbania*

Riassunto

In questo lavoro presentiamo l'approccio didattico adottato all'interno di un Istituto Tecnico, per sensibilizzare ed educare i giovani alla sostenibilità. Si è scelto di approfondire il tema dell'economia circolare, mediante progetti educativi con lo scopo di reimpiegare prodotti alimentari e vegetali a fine vita. In particolare, si è deciso di dimostrare come scarti che fanno parte del nostro quotidiano possano diventare risorse. Gli studenti hanno sintetizzato bioprodotto a base di amido e/o cellulosa a partire da scarti di cibo, come prodotti scaduti o avanzi di pasti, e scarti vegetali, come le foglie secche. Verificata la biocompostabilità dei bioprodotto, gli studenti hanno poi proposto diversi impieghi, sia in ambito domestico che in quello agricolo. Mediante una didattica laboratoriale e progettuale, è stato dato un esempio di sostenibilità ambientale a tutto tondo, permettendo da un lato di riutilizzare scarti di cibo e dall'altro di sostituire materiali ad alto impatto ambientale con alternative eco-compatibili.

Summary

In this work we present the educational approach adopted within a Technical Institute, to attract interest and educate young people about sustainability. We decided to study the theme of circular economy, through educational projects, with the aim of reusing food and vegetable products at the end of their life. In particular, we decided to demonstrate how wastes, that are part of our daily life, could become resources. Students synthesized starch and/or cellulose-based bioproducts from food wastes, such as expired products or meal leftovers, and vegetable scraps, such as dead leaves. Some tests proved that the obtained bioproducts were biocompostable. The students then proposed possible applications, both in the domestic and agricultural sectors. Through laboratory and projects teaching, an example of all-round environmental sustainability was given, allowing on the one hand to reuse food waste and on the other hand to replace materials with high environmental impact with eco-friendly alternatives.

1. Introduzione

La recente normativa italiana in termini di tutela ambientale, con la legge costituzionale 11 febbraio 2022 n. 1 recante "Modifiche agli articoli 9 e 41 della Costituzione in materia di tutela dell'ambiente" pubblicata nella Gazzetta ufficiale n. 44 del 22 febbraio 2022 [1], che inserisce la tutela dell'ambiente tra i principi fondamentali dell'ordinamento italiano, ha reso necessaria l'introduzione della transizione ecologica all'interno dei processi di formazione. In tale ottica, ad esempio, il Ministero dell'Istruzione, con l'avviso n. 92 del 21/10/2021 [2], ha promosso lo sviluppo di progetti scolastici per favorire iniziative per l'educazione allo sviluppo sostenibile, inteso come condizione indispensabile per sostenere la transizione ecologica.

In termini di formazione, è quindi necessario programmare azioni tali da orientare gli studenti verso un modello di società in cui siano centrali l'ambiente e l'ecologia con un approccio in cui diventino protagonisti l'Economia Circolare, attraverso la progettazione di prodotti ecocompatibili, e il Life Cycle Thinking (LCT), che considera l'intero ciclo di vita di un prodotto. Tale approccio didattico è stato adottato con alcuni studenti e classi dell'Istituto di Istruzione Superiore "L. Cobianchi" di Verbania, iscritti all'indirizzo Chimica, Materiali e Biotecnologie delle articolazioni Chimica e Materiali e Biotecnologie Ambientali, con i quali si è voluto sperimentare come trasformare in risorse scarti di cibo o vegetali, che fanno parte del quotidiano, al fine di minimizzare i problemi legati allo spreco alimentare e all'inquinamento da materiali persistenti nell'ambiente, come le plastiche tradizionali di origine fossile. È infatti noto che ogni anno vengono generati milioni di tonnellate di rifiuti di plastica che, rispetto ad altri materiali, non si biodegradano, ma persistono per centinaia o migliaia di anni nell'ambiente, decomponendosi in microframmenti tossici che si dissolvono facilmente negli ecosistemi circostanti. [3]

Con gli studenti sono state progettate e sperimentate alcune procedure di sintesi, con l'idea di promuovere la bioeconomia in un'ottica di economia circolare, studiando l'intero ciclo di vita del materiale prodotto, dal recupero degli scarti alla realizzazione di un prodotto funzionale, fino a valutarne la biocompostabilità nei suoli. Per adottare tale approccio all'educazione ambientale, gli studenti hanno sperimentato una didattica laboratoriale per progetti, mettendo in pratica tutte le competenze acquisite in ambito curricolare.

2. Relazione

Il lavoro descritto è stato completamente svolto all'interno dei laboratori di chimica dell'I.I.S. "L.Cobianchi" di Verbania e riassume quanto svolto durante l'anno scolastico 2021-22 dagli studenti dell'indirizzo Chimica, Materiali e Biotecnologie delle articolazioni Chimica e Materiali e Biotecnologie Ambientali, nell'ambito dei progetti didattici "Biomateriali da scarti", realizzato dalla 4^a Chimica e Materiali, e "(Not) Just Plastic", sviluppato da alcuni studenti della 3^a Biotecnologie Ambientali.

L'approccio metodologico è stato quello della didattica laboratoriale e progettuale, modificando il modo di fare didattica di tipo verticale e favorendo la condivisione di saperi e il cooperative learning. In questa esperienza gli studenti hanno partecipato attivamente al percorso di apprendimento e di avvicinamento ai temi dell'economia circolare e della transizione ecologica, mettendo in campo e valorizzando le proprie e diverse abilità e competenze, sia disciplinari che relazionali e sociali, e dando spazio alla propria creatività nella progettazione e nell'esposizione di quanto realizzato.

Agli studenti è stato proposto un iniziale approfondimento sui temi di sviluppo sostenibile, educazione ambientale, conoscenza e tutela del patrimonio e del territorio, individuati dal Ministero dell'Istruzione come uno dei nuclei fondanti dell'insegnamento dell'Educazione Civica.

In seguito, con l'obiettivo di trasformare in risorse scarti provenienti dal quotidiano, sono state studiate e progettate procedure sperimentali di diverso tipo, che avessero come obiettivo il recupero di scarti alimentari e/o vegetali a fine vita.

La scelta di utilizzare come materia prima scarti di cibo deriva dal forte impatto che lo spreco alimentare esercita sul nostro Pianeta, come sottolineato dal Food Waste Index Report pubblicato dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) nel 2021, che ha evidenziato come "lo spreco alimentare grava anche sui sistemi di gestione dei rifiuti, esacerba l'insicurezza alimentare, rendendolo un importante contributo alle tre crisi planetarie del cambiamento climatico, della natura e della perdita di biodiversità, dell'inquinamento e dei rifiuti". [4] Ad esempio, tra le materie prime utilizzate, il siero di latte è responsabile di rile-

vanti problemi ambientali sia per il suo grande volume che per l'alto contenuto organico. Lo sversamento è quasi ovunque vietato e lo scarico in terreni crea gravi problemi di inquinamento per l'ambiente, influenzando negativamente le caratteristiche fisico-chimiche del suolo, per cui, prima del suo smaltimento è necessario un trattamento ecocompatibile. [5] Il siero ed altri scarti alimentari possono essere utilizzati per produrre biomateriali a base di amido e/o cellulosa. [6][7][8]

In particolare, gli scarti alimentari sono stati sottoposti a due tipologie di processi:

- da quelli ricchi di amido (es. riso, pasta, prodotti di panificazione), tramite osmosi in acqua calda, si è estratto l'amido, che è stato poi miscelato con acido cloridrico e glicerolo, ottenuto da oli vegetali esausti, per generare bioplastiche;

- il siero di latte scaduto è stato invece miscelato a scarti contenenti sia amido che cellulosa (verdura, frutta), per ottenere bioplastiche che mantenessero colore e proprietà antiossidanti dei vegetali di partenza grazie alle condizioni miti del processo di produzione.

Partendo invece dagli scarti vegetali (foglie secche), mediante apposita modifica del processo Kraft, è stata separata la cellulosa, utilizzata per produrre un materiale biocomposito, ottenuto modificando il processo di produzione di bioplastiche da amido, in modo da realizzare un biomateriale con una maggior robustezza e resistenza meccanica.

Dopo aver testato la biocompostabilità dei prodotti, gli studenti hanno proposto diversi utilizzi, sia in ambito domestico, per confezionare o conservare cibo con materiali compatibili con gli alimenti, sia in quello agricolo, con la produzione di vasetti interrabili insieme alle piante, che rilasciano nel tempo sostanze nutritive per il terreno.

2.1 Produzione di biomateriali da scarti alimentari

2.1.1 Preparazione di bioplastica da scarti vegetali e siero del latte

Per preparare le bioplastiche da scarti vegetali, sono stati raccolti e recuperati diversi scarti domestici, tra cui bucce di banane, fragole non più edibili, crauti e insalata appassiti, bucce di patate, bucce di arance, scarti di barbabietole. A 100g di scarti vegetali sono stati addizionati 100mL di acqua in un becher con sufficiente capienza e il tutto è stato fatto bollire per circa 10-15 minuti, al termine dei quali si è frullato il solido. Alla miscela così ottenuta sono stati addizionati 100mL di siero di latte, recuperato da latte fresco scaduto e separato dalla caseina mediante filtrazione. Una parte del miscuglio è stato versato all'interno di un contenitore formando uno strato sottile e lasciato ad asciugare per qualche giorno.

2.1.2 Preparazione di bioplastica da amido

In alternativa alla preparazione di bioplastica direttamente da scarti alimentari, si è pensato di recuperare un ulteriore scarto del settore alimentare, ossia l'amido ottenuto dal processo di cottura di alimenti che ne sono molto ricchi, quali il riso o la pasta. Il riso presenta ad esempio un contenuto di questo carboidrato di circa l'85%. L'amido è solubile in acqua calda, per cui è possibile separarlo dalle acque di scarto recuperate in seguito alla cottura di riso o pasta. In alternativa, si è provato a estrarre l'amido nel medesimo modo da avanzi di cibo, precedentemente cotti, ottenendo una resa necessariamente più bassa. Nel processo di estrazione di amido sono stati messi a bollire circa 200g di riso/pasta in 600mL di acqua bollente in un cristallizzatore con capacità di 1L per circa 15 min. In seguito, il riso e la pasta sono stati separati e sono state recuperate le acque di cotture, in cui è stato recuperato l'amido per decantazione. Dopo essiccamento dell'amido estratto, sono stati condotti dei test per caratterizzarlo.

Per riconoscere l'amido, è stata effettuata un'analisi qualitativa con il reattivo di Lugol che, reagendo con esso, sviluppa un'intensa colorazione viola, per via della formazione di un complesso tra l'amido e lo iodio contenuto nel reattivo. Utilizzando uno spettrofotometro UV-vi-

sibile a doppio raggio, è stato registrato lo spettro del complesso formatosi, che presenta un massimo di assorbimento ad una lunghezza d'onda di 570 nm.

Inoltre la caratterizzazione dell'amido estratto è stata completata mediante la registrazione dello spettro FT-IR e il confronto con spettri di amido da altre fonti. I campioni da analizzare sono stati preparati disperdendo una piccola quantità di amido in Nujol (olio minerale) e introdotta tra due finestre di cloruro di sodio.

La sovrapposizione degli spettri con quelli registrati per l'amido di diversa origine conferma che i campioni estratti dalle acque di cottura del riso e della pasta corrispondono ad amido (fig. 1).

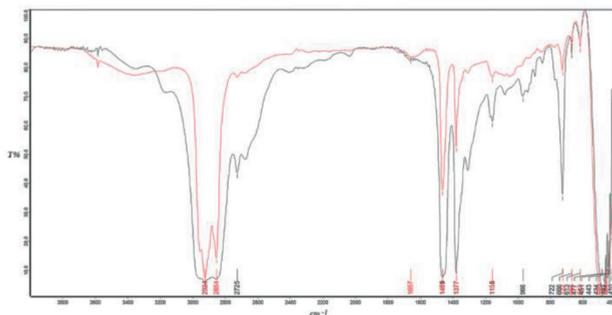


Fig. 1 – Spettro FT-IR dell'amido estratto da riso e dell'amido solubile

Infine, poiché ogni alimento contiene una diversa composizione di amido, agli studenti è stato proposto di sviluppare un metodo di analisi quantitativa per determinarne il contenuto, che sfruttasse la formazione del complesso amido-iodio. Attraverso le competenze acquisite nella disciplina di analisi chimica strumentale, è stato impiegato il metodo della retta di taratura per quantificare la percentuale di amido estratta dai diversi scarti.

Ottenuto l'amido, sfruttando la sua capacità di formare dei film sottili quando viene eliminata l'acqua, per via della formazione di legami idrogeno tra le catene del polimero, sono state prodotte bioplastiche, le cui proprietà possono essere incrementate grazie all'utilizzo del glicerolo. Nello specifico, si è provato ad utilizzare anche glicerolo ottenuto dal processo di produzione di biocarburanti a partire da oli vegetali esausti, in modo da recuperare un ulteriore scarto, oltre a quelli già citati.

Per la produzione di bioplastica sono stati pesati in un becher circa 2,5g di amido a cui sono stati aggiunti 25mL di acqua e, sotto costante agitazione, 3mL di acido cloridrico HCl 0,1M per favorire la frammentazione dell'amilopectina, evitando impedimenti nella formazione del film. Quando la miscela ha raggiunto la condizione di ebollizione sono stati aggiunti 2mL di glicerolo per migliorarne le proprietà plastiche. Infine, dopo circa 15 minuti all'ebollizione e parziale raffreddamento, si è neutralizzato il contenuto con idrossido di sodio NaOH 0,1M. La miscela è stata poi versata in opportuni contenitori e lasciata essiccare all'aria per qualche giorno.

2.1.3 Caratterizzazione delle bioplastiche prodotte

Sia le bioplastiche prodotte da scarti vegetali e siero di latte, che quelle ottenute da amido, acido cloridrico e glicerolo sono state caratterizzate mediante spettrofotometria FT-IR, disperdendo una piccola quantità di bioplastica in Nujol (olio minerale) e introducendola tra due finestre di cloruro di sodio. Negli spettri registrati, sono presenti le bande caratteristiche dei costituenti delle materie prime da cui sono state preparate le bioplastiche (amido, cellulosa).

2.2 Produzione di biomateriali da cellulosa e amido

Oltre agli scarti alimentari, alcuni studenti hanno proposto di trasformare in nuove risorse anche le foglie secche che, cadendo dagli alberi, vanno ad accumularsi sulle strade. L'idea è stata quella di separare la cellulosa dalla lignina, in modo da utilizzarla come materia prima per la produzione di altri biomateriali.

Per recuperare la cellulosa sono stati testati due diversi procedimenti (fig. 2), messi poi a confronto. Nel primo caso, le foglie secche sono state trattate per circa 2 ore con una soluzione basica, ottenuta dal trattamento delle ceneri del camino, in condizioni di ebollizione. Dopo lavaggio con acqua, il solido è stato trattato con ipoclorito di sodio NaClO . La cellulosa ottenuta con questo metodo è stata confrontata con la cellulosa separata con il metodo Kraft appositamente modificato, che prevede una serie di trattamenti dello scarto in condizioni di ebollizione per qualche ora prima con acqua, poi con una soluzione di carbonato di sodio Na_2CO_3 e solfato di sodio Na_2SO_4 all'1% m/m e infine con una soluzione basica proveniente dalle ceneri, seguita dal trattamento con ipoclorito di sodio NaClO .

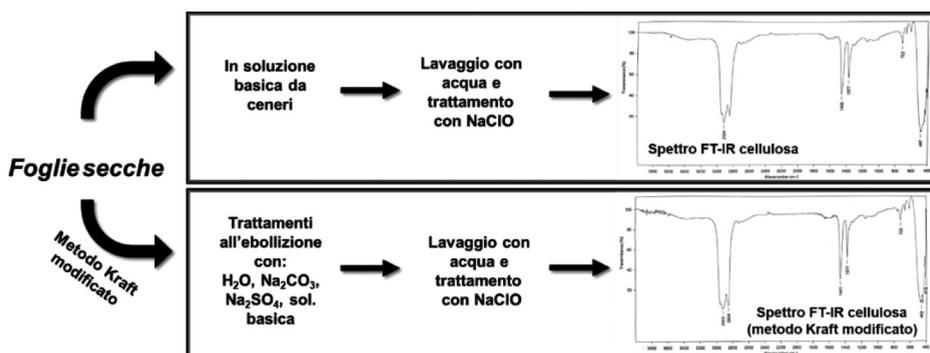


Fig. 2 – Confronto tra due processi di separazione della cellulosa dalle foglie secche

Lo spettro FT-IR ha confermato che entrambi i processi hanno separato la cellulosa dal resto dello scarto, senza significative differenze tra i prodotti ottenuti.

Completata la caratterizzazione della cellulosa, sono stati pesati in un becher circa 2,5g di amido estratto da scarti alimentari a cui sono stati aggiunti 25mL di acqua e, sotto costante agitazione, 3 mL di acido cloridrico HCl 0,1M. Quando la miscela ha raggiunto la condizione di ebollizione sono stati aggiunti 2mL di glicerolo e, dopo circa 15 minuti all'ebollizione e parziale raffreddamento, si è neutralizzato il contenuto con idrossido di sodio NaOH 0,1M. A questa miscela è stato aggiunto e mescolato 1g di cellulosa e, dopo qualche minuto, il contenuto del becher è stato travasato in opportuni contenitori e lasciato essiccare all'aria per qualche giorno. Il materiale così ottenuto, un materiale biocomposito di amido e cellulosa, è risultato più rigido della bioplastica di origine alimentare precedentemente prodotta. Anche di questo è stato registrato uno spettro FT-IR.

2.3 Test di biocompostabilità sui biomateriali ottenuti

Poiché l'obiettivo iniziale era quello di produrre dei materiali eco-friendly, meno persistenti nell'ambiente rispetto ai materiali tradizionali, e di studiarne il loro intero ciclo di vita, si è verificata la biocompostabilità di quanto prodotto, sia delle bioplastiche che del materiale biocomposito. È stato così studiato l'intero ciclo di vita dei prodotti (fig. 3).

I biomateriali sono stati frammentati all'interno di un cristallizzatore contenente del suolo inumidito e dell'amido per velocizzare il processo di decomposizione e il cristallizzatore è

stato posto in stufa a 40°C per alcuni giorni, in modo da ricreare e accelerare le condizioni di decomposizione.

Il terreno è stato periodicamente inumidito e mescolato e dopo qualche settimana nel suolo non era più presente alcun frammento visibile di biomateriale, a dimostrazione della potenziale biocompostabilità dei prodotti ottenuti a partire dalle diverse materie prime.

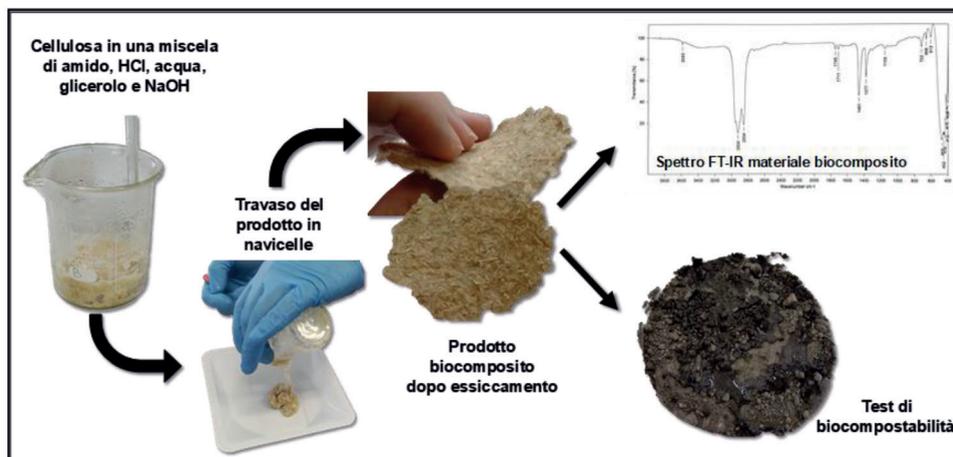


Fig. 3 – Processo di sintesi del materiale biocomposito e sua caratterizzazione

2.4 Produzione di manufatti con i biomateriali

Dopo aver ottenuto biomateriali di diversa origine, è stato dato spazio alla creatività degli studenti per proporre utilizzi adeguati (fig. 4).

Dagli scarti alimentari si sono ottenuti dei film di bioplastica piuttosto resistenti alla trazione, ma un po' meno al taglio (strappo), suggerendo l'utilizzo di questi materiali come pellicole adatte al contatto con cibo e che garantiscono una certa sicurezza alimentare.

Con la bioplastica ottenuta dall'amido e con il materiale biocomposito, che presentano una rigidità maggiore, si è inoltre pensato di realizzare anche dei contenitori monouso o con breve durata di vita, ad esempio, come imballaggi in sostituzione alle plastiche tradizionali o nel settore agricolo, per realizzare vasetti interrabili, che poi rimangono nel terreno dando anche un apporto nutritivo per la crescita delle piante.

L'idea finale di alcuni studenti propone l'impiego di tutti i biomateriali prodotti, con la realizzazione di contenitori di cibo che strutturalmente siano costituiti da materiali biocompositi di amido e cellulosa, ma rivestiti internamente di bioplastica di origine alimentare.



Fig. 4 – Possibili applicazioni dei biomateriali prodotti, come pellicole per alimenti o vasetti

3. Conclusioni

Questi progetti, che hanno coinvolto attivamente gli studenti, sono stati fondamentali per far loro sviluppare diverse competenze disciplinari, oltre che sociali e relazionali. I temi dell'economia circolare e della transizione ecologica sono stati sia il mezzo che il fine per portare i ragazzi a sviluppare un pensiero critico sull'ambiente e sulle problematiche ad esso connesse, fornendo loro la capacità di osservare in modo diverso ciò che li circonda e l'abilità di ipotizzare nuovi impieghi per ciò che viene generalmente considerato scarto. Introducendo tali iniziative all'interno di un percorso di formazione, che ha come obiettivo quello di formare nuovi tecnici chimici oltre che cittadini che partecipino con cognizione alla vita della società, possiamo sottolineare che, mediante le attività proposte, gli studenti hanno sviluppato notevoli competenze in chimica, usando come strumento la chimica verde e la bioeconomia e raggiungendo contemporaneamente sia gli obiettivi tecnici delle discipline studiate (Chimica Analitica e Strumentale, Chimica Organica, Tecnologie Chimiche), sia gli obiettivi di educazione civica proposti dai progetti.

Per motivare ulteriormente le classi coinvolte, si è proposto loro di presentare al pubblico quanto sviluppato e prodotto. Sottolineiamo che la classe 4 Chimica e Materiali, con il progetto "Biomateriali da scarti" è stata insignita del primo premio nella categoria 3a (realizzazione di un bioprodotto per le scuole secondarie di secondo grado) del concorso "Bioeconomy4you" organizzato da Re Soil Foundation – in collaborazione con Cluster Spring, Fondazione Raul Gardini, Novamont, Transition2Bio (APRE e FVA). Agli studenti è stato conferito il titolo di ambasciatori della bioeconomia, con cui si faranno portavoce sui temi di economia circolare e transizione ecologica.

Bibliografia

- [1] Legge costituzionale 11 febbraio 2022 n. 1 "Modifiche agli articoli 9 e 41 della Costituzione in materia di tutela dell'ambiente". Gazzetta ufficiale n. 44 del 22 febbraio 2022
- [2] **Ministero dell'Istruzione**, Avviso n. 92 del 21/10/2021
- [3] **Zhang, S., Wang, J., Liu, X., Qu, F., Wang, X., Wang, X., Li, Y., Sun, Y.**, *Microplastics in the environment: A review of analytical methods, distribution, and biological effects*, *Trends in Analytical Chemistry*, 2018, 111, 4, 62-72
- [4] UNEP Food Waste Index Report 2021
- [5] **Chalermthai, B., Chan, W.Y., Bastidas-Oyanedel, J-R., Taher, H., Olsen, B.D., Schmidt, J.E.**, *Preparation and Characterization of Whey Protein-Based Polymers Produced from Residual Dairy Streams*, *Polymers* 2019, 11(4)
- [6] **Bayer, I.S., Guzman-Puyol, S., Heredia-Guerrero, J.A., Ceseracciu, L., Pignatelli, F., Ruffilli, R., Cingolani, R., Athanassiou, A.**, *Direct Transformation of Edible Vegetable Waste into Bioplastics*, *Macromolecules*, 2014, 47, 15, 5135–5143
- [7] **Perotto, G., Ceseracciu, L., Simonutti, R., Paul, U.C., Guzman-Puyol, S., Tran, T.N., Bayer, I.S., Athanassiou, A.**, *Bioplastics from vegetable waste via an eco-friendly water-based process*, *Green Chemistry*, 2018, 20, 894-902
- [8] **Ismail, N.A., Mohd Tahir, S., Norihan, Y., Abdul Wahid, M.F., Khairuddin, N.E., Hashim, I., Rosli, N., Abdullah, M.A.**, *Synthesis and Characterization of Biodegradable Starch-Based Bioplastics*. *MSF* 2016, 846, 673–678.

XXIV CONFERENZA NAZIONALE SUL COMPOSTAGGIO E LA DIGESTIONE ANAEROBICA

La sessione affronterà i temi legati alle modalità di riciclo del rifiuto organico e alla valorizzazione dei prodotti ottenibili, che spaziano dal biometano ai diversi tipi di fertilizzanti organici (ammendanti e concimi), utili al mantenimento della fertilità organica del suolo, oltre ai 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

Digitalizzazione del Biometano. Casi studio: Biometano 4.0 agricolo e da FORSU

Gianluca Fusillo, g.fusillo@mendelsohn.it Giuseppe Lorusso, Nicola Prunella, Miriam Sorbo. Logos Italia S.r.l. (Mendelsohn) – Bari – Reggio Emilia

Riassunto

Le politiche comunitarie che mirano a stimolare gli stati membri ad esser pronti per le sfide future hanno avuto e continuano ad avere ricadute dirette sul comparto del Biometano. L'orientamento è quello di potenziare tre driver di crescita: digitalizzazione, sostenibilità e resilienza. La produzione di Biometano, agricolo, industriale o da FORSU, continua a ricevere attenzioni per l'importante valore strategico che l'energia riveste nel quadro sociopolitico globale. La crisi energetica impone di non sprecare tempo nella valorizzazione di questa preziosissima risorsa. Il settore ha accolto la sfida alla digitalizzazione grazie anche alle politiche nazionali volte a promuovere investimenti digitali per migliorare la competitività italiana e l'adattabilità ai cambiamenti dei mercati, supportando allo stesso tempo un'economia più sostenibile. Si evidenziano le potenzialità reali dell'interconnessione dei macchinari lungo il ciclo produttivo e la necessità di ottimizzare l'utilizzo consapevole e fruttuoso dei dati acquisiti, nonché le misure agevolative spettanti per la digitalizzazione. Casi studio: Biometano agricolo e da FORSU.

Summary

European Union policies aimed to stimulate member states to be ready for future challenges have direct repercussions on the Biomethane sector. There are three main growth drivers: digitalization, sustainability, and resilience. The production of biomethane, both from agricultural or industrial residues or OFMSW, continues to receive attention due its strategic value in the global socio-political framework. The energy crisis requires us not to waste time in the enhancement of this precious resource. The sector has accepted the challenge to digitalization thanks also to national policies aimed at promoting digital investments to improve Italian competitiveness and adaptability to market changes, supporting a more sustainable economy in the while. The real potential of the interconnection along the production cycle and the need to optimize the conscious and fruitful use of the acquired data, as well as the facilitating measures for digitalization, are highlighted. Case Study: Agricultural and OFMSW biomethane.

1. Introduzione

La produzione di biocarburanti per i trasporti, in particolare di biometano avanzato, è fra le azioni ad alta priorità individuate dall'UE per la promozione di energia da fonti rinnovabili (1).

L'obiettivo della RED II (1), affidato collettivamente agli Stati Membri, prevede una quota di energia da fonti rinnovabili nel consumo finale lordo di energia dell'Unione nel 2030 sia almeno pari al 32%.

L'UE, inoltre, mira alla completa decarbonizzazione dell'economia entro il 2050 attraverso

una revisione drastica del sistema energetico e delle proprie infrastrutture. Già nel dicembre 2019 la Commissione Europea ha annunciato l'*European Green Deal*, la misura che include un'ampia varietà di piani per intensificare le politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici; spicca il piano "*Fit for 55*", attraverso il quale si fissa l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas climalteranti di almeno il 55% entro il 2030 (dati comparati alle emissioni del 1990).

Il biometano gioca un ruolo rilevante nel raggiungimento dei risultati climatici prefissati per il 2030 e per l'obiettivo zero-emissioni al 2050. Inoltre, il biometano è una risorsa strategica che può contribuire alla sicurezza energetica europea riducendo la dipendenza dal gas naturale estero e in particolar modo dal gas russo. Proprio in risposta alle difficoltà e l'interruzione del mercato energetico globale causato dall'invasione russa dell'Ucraina, la Commissione Europea ha presentato il *REPowerEU Plan*, un piano straordinario per affrontare la duplice urgenza che affligge il sistema energetico europeo: eliminare la dipendenza dalle fonti russe e affrontare la crisi climatica in armonia con la *RED II*. In seno al piano *REPowerEU* è stata fissata la necessità di innalzare la produzione di biometano a 35 miliardi di m³ entro il 2030. Secondo uno studio effettuato da "*Gas for Climate*", ad oggi, nei 27 paesi della UE si producono 3 miliardi di m³ di biometano e 15 miliardi di m³ di biogas (2). Lo stesso studio riporta delle proiezioni al 2030 dalle quali si evince la chiara tendenza positiva del settore in tutta Europa con la previsione di produzione comunitaria di ben 38 miliardi di m³; in questa classifica l'Italia occupa la terza posizione con una produttività stimata di circa 7 miliardi di m³, quasi il 10% del totale.

La situazione italiana al 2021, secondo le stime di European Biogas Association e Gas Infrastructure Europe, riprese da Assogasmetano (3), vede la presenza di 27 impianti attivi per la produzione di biometano con una capacità complessiva di produzione di 24.445 m³/h, pari a 220 milioni di m³ all'anno.

Il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) per il periodo programmatico 2021-2030 ha colto gli orientamenti comunitari, anzi ha anche fissato una quota più ambiziosa di energia da Fonte Energetica Rinnovabile (FER) nei consumi finali lordi di energia nei trasporti più elevata rispetto al target UE, 22% invece del 14%.

Il MiSE nel 2018 ha ritenuto opportuno aggiornare la normativa in materia di incentivazione del biometano. È stato pertanto emanato il DM 2 marzo 2018, attualmente vigente, che promuove l'utilizzo del biometano nel settore dei trasporti. L'istituzione dei CIC (Certificati di Immissione al Consumo) svincola il rispetto dell'obbligo di immissione in consumo dalla miscelazione del biocarburante, traducendolo nel conseguimento di un numero di certificati tali da coprire l'obbligo dello specifico Soggetto Obbligato. Pertanto, il Soggetto Obbligato che non avesse fisicamente miscelato e immesso in consumo il biocarburante può assolvere al proprio obbligo acquistando i CIC da coloro che ne avessero in eccesso per aver immesso più biocarburante rispetto alla propria quota minima obbligatoria. Con il DM 5 agosto 2022, il MiTE ha sancito la possibilità di accedere agli incentivi previsti dal DM 2 marzo 2018 anche per gli impianti di produzione di biometano in corso di realizzazione che rispettino particolari condizioni ed entrino in esercizio entro il 31/12/2023.

I clienti ultimi, utilizzatori finali del biometano avanzato, sono i privati, proprietari di vetture alimentate a metano, e le aziende di trasporti che hanno già sostenuto ingenti spese per la conversione del parco mezzi dall'alimentazione a gasolio a quella a metano. L'Italia ha il più grande parco auto d'Europa alimentato a gas metano. Oltre 944.000 veicoli alimentati a gas circolano attualmente sulle strade italiane, il 2,1% sul totale del parco auto circolante e (4) (5). Il successo nell'utilizzo del biometano nei trasporti risiede quindi non solo nel numero di consumatori finali potenziali ma anche in altre due condizioni: la rete di trasporto gas tra le più capillari ed evolute d'Europa e la presenza di oltre mille distributori sparsi per tutta Italia.

2. Relazione

L'aumento dei siti produttivi di biometano è coinciso temporalmente con lo slancio verso la digitalizzazione delle imprese. L'attuale piano di politica industriale quale il Piano Nazionale Transizione 4.0, promuove, attraverso lo strumento del credito d'imposta, l'evoluzione dei modelli produttivi ordinari verso il paradigma dell'Industria 4.0. Caratteristiche, nonché requisiti, tipici dell'industria 4.0 sono l'interconnessione e l'integrazione automatizzata.

Affinché il requisito di interconnessione possa considerarsi soddisfatto è necessario che il bene *strumentale* sia in grado di scambiare informazioni, attraverso un collegamento basato su specifiche documentate, disponibili pubblicamente e internazionalmente riconosciute (TCPIP, HTTP, MQTT, ecc.) con:

- sistemi interni quali gestionali, sistemi di pianificazione, sistemi di progettazione e sviluppo del prodotto, monitoraggio locale e remoto, altre macchine dello stabilimento, sistemi MES;
- sistemi esterni come i clienti, i fornitori, i partner nella progettazione e sviluppo collaborativo, altri siti di produzione, supply chain.

Per l'integrazione automatizzata è fondamentale l'identificazione univoca del bene strumentale, al fine di riconoscere l'origine delle informazioni, mediante l'utilizzo di standard di indirizzamento internazionalmente riconosciuti, come ad esempio gli indirizzi IP.

Nello specifico, se il bene è una macchina, un sistema robotico o un magazzino automatizzato, dovrà rispettare i seguenti requisiti: controllo per mezzo di CNC e/o PLC; interconnessione ai sistemi informatici di fabbrica con caricamento da remoto di istruzioni e/o part program; integrazione automatizzata con il sistema logistico della fabbrica o con la rete di fornitura e/o con altre macchine del ciclo produttivo; interfaccia tra uomo e macchina semplici e intuitive; rispondenza ai più recenti parametri di sicurezza, salute e igiene del lavoro.

Inoltre, dovrà rispettare almeno due dei seguenti requisiti: sistemi di telemanutenzione e/o telediagnosi e/o controllo in remoto; monitoraggio continuo delle condizioni di lavoro e dei parametri di processo mediante opportuni set di sensori e adattività alle derive di processo; caratteristiche di integrazione tra macchina fisica e/o impianto con la modellizzazione e/o la simulazione del proprio comportamento nello svolgimento del processo (sistema cyberfisico). I key performance indicators (KPI's) che è possibile monitorare attraverso i sistemi di interconnessione degli impianti di produzione di biometano sono molteplici e fanno riferimento a diversi aspetti di processo (6).

I KPI più indicativi per il processo di produzione di biometano si ritiene che siano:

- Resa effettiva di biometano. Questo KPI potrà essere espresso in $\text{Nm}^3_{\text{CH}_4(\text{immesso in rete})} / \text{t}_{(\text{biomassa})}$. Può essere definito diversamente in funzione del sistema di riferimento preso in considerazione (es. biometano prodotto in laboratorio a partire dalla digestione anaerobica di un substrato realizzato ad hoc, si otterrà il potenziale biochimico di metano (BMP, Biochemical Methane Potential). In pratica, in seguito ad un processo continuo sarà possibile ottenere una quantità inferiore di BMP, circa il 70%-90%. Calando ulteriormente le considerazioni ad un contesto reale, la composizione della biomassa sarà molto variabile, da cui deriverà anche un'estrema variabilità delle rese effettive di biometano. Ancora, qualora si utilizzi una parte del biogas prodotto per alimentare un cogeneratore per la produzione di energia per l'autoconsumo a sostentamento dell'impianto, la resa fra biomassa in ingresso e biometano in uscita subirà un'ulteriore revisione.

- Impatto climatico. In armonia con i criteri di sostenibilità definiti dalla direttiva RED II e dettagliati all'Art. 29 e all'Art. 31, il parametro di riferimento per definire la sostenibilità ambientale e climatica dei biocarburanti utilizzati per i trasporti è la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra rispetto all'utilizzo della controparte di origine fossile. Le riduzioni delle emissioni di gas a effetto serra relative al biometano si riferiscono solo al biometano compreso rispetto al carburante fossile per trasporti di riferimento pari a $94 \text{ g}_{\text{CO}_2\text{eq}} / \text{MJ}$.

- **Profitto specifico.** Questo KPI può essere definito come Proventi totali/Costi totali. Al numeratore saranno considerati i proventi derivanti dalla vendita del biometano e del fertilizzante, nonché l'ottenimento dei Certificati di Immissione al Consumo (CIC) previsti dal DM 2 marzo 2018. I costi riguarderanno tutti gli OPEX associati alla conduzione e gestione dell'impianto. Essendo il mercato energetico sottoposto ad ampie variazioni di prezzo, questo KPI potrà assumere valori anche ampiamente diversi in funzioni delle condizioni socioeconomiche del periodo considerato.

Di seguito sono riportati due esempi di interconnessione di due impianti distinti, uno alimentato a FORSU, l'altro agricolo. La differenza principale dei due casi consiste negli strumenti utilizzati per interconnettere tutte le componenti dell'impianto.

2.1 *Caso studio Biometano da FORSU*

L'intero impianto è caratterizzato da un sistema di automazione delle singole componenti che prevede una configurazione master/slave. Il PLC master (Siemens Simatic S7 1500) funge da interfaccia tra il software di supervisione e gestione dell'impianto ed i PLC slave (Siemens Simatic S7 1200) che gestiscono i singoli componenti delle varie sezioni dell'intero impianto. I parametri di processo dei singoli apparati possono essere gestiti e monitorati in locale dagli operatori mediante delle interfacce uomo macchina (HMI – Human Machine Interface). Come supervisione e gestione dei singoli componenti dell'impianto, si è provveduto all'interconnessione delle singole unità di controllo locali (PLC) con un software sviluppato ad hoc che implementa le funzionalità tipiche di uno SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Le funzionalità dell'applicativo software consentono:

- **Analisi e controllo:** il sistema permette di monitorare, analizzare i dati e controllare il processo;
- **Interfacce Responsive:** il sistema mette a disposizione delle dashboard grafiche di facile interpretazione ed utilizzo da parte degli utenti;
- **Sistemi di notifica:** il sistema consente di notificare condizioni di allarmi e valori fuori soglia. Il software di interconnessione funge quindi da cruscotto dell'intero impianto con i seguenti vantaggi:
 - **Piattaforma unificata:** è possibile controllare tutte le fasi del processo di produzione utilizzando una singola piattaforma software che riduce significativamente la complessità operativa. Tutti i dati sono disponibili su un'unica piattaforma, in questo modo è possibile ottenere una chiara panoramica delle varie fasi di produzione ed è possibile sfruttare appieno i dati.
 - **Tempi di inattività ridotti:** il sistema di supervisione è in grado di rilevare possibili allarmi e/o valori dei parametri di processo non validi ed automaticamente invia notifiche di allarmi. Allo stesso tempo il sistema di supervisione è in grado di effettuare eventuali correzioni in base alle configurazioni (Set Point) impostate in fase preliminare dal personale preposto. Queste funzioni aiutano a migliorare l'efficacia generale di un impianto (OEE - Overall Equipment Effectiveness) e a ridurre il tempo di inattività con relativa ottimizzazione dei costi di gestione dell'impianto;
 - **Maggiore efficienza:** un sistema di supervisione permette di semplificare i processi grazie all'implementazione di procedure e strumenti intuitivi facilmente utilizzabili dagli operatori presenti in impianto. Il sistema è in grado di adeguarsi in automatico ad eventuali derive riscontrate tramite i sensori disposti lungo l'impianto ed allo stesso tempo consente all'operatore di effettuare cambiamenti in tempo reale al verificarsi di particolari condizioni operative;
 - **Integrazione ed espandibilità semplificata:** il sistema di supervisione è in grado di effettuare l'interconnessione con svariate tipologie di macchinari, garantendo quindi espandibilità dell'impianto mediante l'applicazione di opportuni driver di comunicazione;

- Maggiore visibilità: la piattaforma software fornisce informazioni in tempo reale sulle attività operative e supporta gli operatori di impianto nella generazione di report e nell'analisi dei dati.

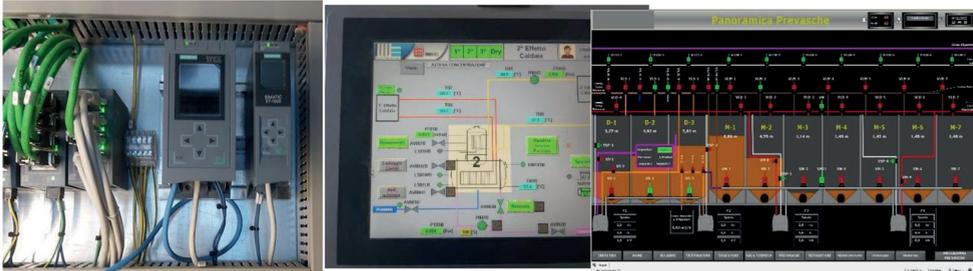


Fig. 1 – A sinistra il PLC master che gestisce tutti i PLC slave dell'impianto; al centro e a destra, schermate della supervisione che consente la gestione unificata dell'intero impianto

2.2 Caso studio Biometano Agricolo

Questo caso prende in considerazione un impianto adeguato ai requisiti dell'industria 4.0 grazie ad una piattaforma Cloud-IoT (Mendelsohn) che risponde all'esigenza di monitorare da remoto una serie di parametri rilevati da sensori ai fini della manutenzione predittiva attraverso l'analisi e la gestione di KPI. Una volta giunti in cloud, i dati vengono analizzati dal software che è in grado di elaborarli e decidere se compiere una determinata azione, come ad esempio regolare i sensori/ dispositivi, senza l'intervento dell'utente o in alternativa inviare un alert. Tramite la piattaforma è stato possibile gestire una serie di tag sia in lettura che in scrittura consentendo l'interconnessione di ogni sezione che compone l'impianto, con il cloud stesso che funge da supervisore. Questo si è dimostrato molto utile in quanto ci si è trovati a dover gestire un impianto molto complesso, costituito da componenti indipendenti tra loro, con una grande quantità di dati provenienti da molti sensori. È stato fondamentale avere una piattaforma centralizzata con cui poter gestire i principali parametri e monitorare il processo ad un livello gerarchicamente superiore.

Il cloud Iot ha consentito di interfacciarsi e comunicare con le macchine mediante diversi protocolli, come opcu, modbus, siemens, ethernetIP, Beckoff e molti altri.

Il trasferimento dei dati avviene in modo sicuro in quanto la piattaforma preleva dati da macchine o impianti visualizzandoli come un HMI e li elabora e memorizza su una piattaforma cloud raggiungibile solo da utenti certificati utilizzando la two factors Authentication (2FA); tutti i dati trasmessi al cloud sono trasferiti in maniera sicura in quanto criptati (il protocollo adoperato è l'HTTPS).

La piattaforma Cloud gestisce un broker Mqtt per notifiche push comunicando i dati tramite protocollo di sicurezza TLS.

I vantaggi riscontrati con l'implementazione del cloud Iot sono:

- Visualizzazione in tempo reale dei dati di processo;
- Reportistica dei dati più significativi e degli alert;
- Accesso sicuro ovunque;
- Gestione di KPI;
- Push notification.

Il cloud iot garantisce inoltre l'integrazione verticale potendo gestire e coordinare la logistica con la rete di fornitura e l'integrazione orizzontale con il tracciamento automatizzato delle informazioni di natura logistica e di processo, nonché con l'interfacciamento con le altre macchine del ciclo produttivo (machine to machine).

Avere un sistema in Cloud con cui monitorare le principali grandezze delle macchine in tempo reale durante l'anno in cui si sono svolti i test, ha consentito di effettuare manutenzione predittiva attraverso l'analisi di guasti (Data-Driven) ovvero la capacità di agire e prendere decisioni basate su fatti oggettivi grazie alla possibilità di ricevere notifiche immediatamente ed in tempo reale su eventuali alert della macchina. In questo modo è stato possibile ridurre nel tempo l'usura dei beni e garantire sempre un'alta qualità delle componenti della macchina, migliorandone l'efficienza.

3. Conclusioni

I casi studio presentati in questo elaborato considerano un anno solare di visualizzazioni durante le quali sono state valutate le performance reali e l'utilità dei sistemi di interconnessione. Sebbene si prenda atto della necessità di proseguire l'analisi dei risultati per almeno altri 4 anni per giungere a conclusioni statisticamente maggiormente significative, al momento è stato possibile dimostrare come la digitalizzazione degli impianti di produzione di biometano abbia portato ad indubbi vantaggi gestionali del processo, nonché di tutte le operazioni accessorie. L'utilità maggiore è stata riscontrata soprattutto per l'impianto agricolo che non era stato fornito da un unico general contractor, che il più delle volte fornisce anche un sistema di gestione unitario, ma era il risultato di un insieme di macchine/impianti/attrezzature che operano singolarmente in autonomia e in modo altamente efficiente ma dal cui dialogo è stato possibile ottimizzare le performance di processo e la gestione e manutenzione delle macchine stesse.

Ricapitolando, è stato possibile dimostrare i seguenti vantaggi dell'interconnessione, a prescindere dal sistema adoperato:

- possibilità di controllare da remoto gli impianti di produzione di biometano;
- verifica puntuale dei livelli di produttività, KPI;
- raccolta e analisi di dati di varia natura, configurabili sulla base delle esigenze aziendali;
- riscontro di eventuali difformità con facoltà di intervento correttivo tempestivo;
- processo decisionale migliorato grazie ad un sistema informativo costantemente alimentato.

Il working in progress a cui si sta lavorando è un'ulteriore evoluzione del sistema di interconnessione attraverso la notarizzazione su Blockchain degli eventi significativi in modo da creare un riscontro digitale degli eventi stessi, tali da renderli inequivocabilmente riconoscibili, una prova di esistenza con marca temporale. In questo modo si mirerà ad ottimizzare ulteriormente la gestione degli impianti attraverso la gestione dei dati che influenzano, o possono influenzare, anche il rapporto con terzi, fornitori, manutentori, enti di controllo. Per far ciò sarà necessario coordinare le volontà di tutti i portatori di interesse in modo che tutti traggano vantaggio dalle innovazioni tecnologiche.

Bibliografia

[1] **Direttiva (UE) 2018/2001 (RED II) del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2018 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.**

[2] **Climate, Gas for. Biomethane production potentials in the EU.** [Online] 2022. <https://gasforclimate2050.eu/news-item/new-study-on-biomethane-production-potentials-in-the-eu/>.

[3] **Assogasmetano.** [Online] 2021. <https://www.assogasmetano.it/biometano-mappa-impianti-italia-e-europa/>.

[4] **ANFIA.**[Online]<https://www.anfia.it/it/automobile-in-cifre/statistiche-italia/parco-circolante>.

[5] **Assogasmetano.**[Online]<https://www.assogasmetano.it/comunicato-stampa-parco-Circolante-metano/>.

[6] **Key performance indicators fo analysis of biogas production from source-separated food waste.”.** R. Feiz, et al. 2020, *Energy*, Vol. 200*biogas production-methodological insights on the life-cycle*.

Digestato da FORSU: valutazione della stabilità di nuovi materiali fertilizzanti

*Erika Sinisgalli**, e.sinisgalli@crpa.it, Mirco Garuti, m.garuti@crpa.it, Mariangela Soldano, m.soldano@crpa.it, Sergio Piccinini, s.piccinini@crpa.it
Centro Ricerche Produzioni Animali – CRPA Lab, Sezione Ambiente ed Energia - Reggio Emilia

Riassunto

Il mercato dei fertilizzanti sta attraversando un cambiamento di grosse proporzioni visto il calo delle forniture e l'aumento dei prezzi dovuti al conflitto fra Russia e Ucraina. Il Nuovo Regolamento Fertilizzanti UE 2019/1009, entrato ufficialmente in vigore il 16 luglio 2022, garantisce una maggiore armonizzazione a livello europeo sul tema dei fertilizzanti di origine organica e da materiale di recupero. Nel seguente studio sono stati analizzati i criteri di stabilità di digestati ottenuti da digestione anaerobica della frazione organica di rifiuti solidi urbani (FORSU) appartenenti alla categoria “CMC 5: digestato diverso da quello di colture fresche”. Tali criteri sono il tasso di assorbimento di ossigeno (OUR), ed il potenziale residuo di biogas (RBP); vengono inoltre ricercate delle relazioni con i parametri di processo degli impianti presso i quali sono stati prelevati i digestati stessi.

Summary

The fertilizers market is one of the most affected by the Russian-Ukrainian conflict, which is going through a great change, considering the drop in supplies and the price increase. The New European Fertilizer Regulation 2019/1009 officially became effective on 16th July 2022, guaranteeing a higher harmonization at EU level for organic fertilizers from waste materials. In the following research, stability criteria of digestates obtained by anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste (OFSMW) have been analysed. The following digestates belong to the category “CMC5: digestate other than fresh crop”. These criteria are the oxygen uptake rate (OUR) and the residual biogas potential (RBP); furthermore, this research investigates any relation to process parameters of the plants from which these digestates have been sampled.

1. Introduzione

Il Regolamento (UE) 2019/1009 [1] è entrato in vigore a partire dal 16 luglio 2022 ed ha aperto il mercato unico per i prodotti fertilizzanti, in precedenza non disciplinati da norme di armonizzazione, tra i quali i fertilizzanti organici e organo-minerali, gli ammendanti, gli inibitori, i biostimolanti delle piante, i substrati di coltivazione e le miscele. Un prodotto fertilizzante dell'Unione Europea deve essere composto esclusivamente da materiali che rispettino le prescrizioni di una o più delle Categorie di Materiali Costituenti (CMC), le quali tendono a valutare la conformità del prodotto e del processo produttivo.

Il digestato ottenuto attraverso digestione anaerobica derivante dalla raccolta differenziata di rifiuti organici (FORSU) appartiene alla categoria “CMC 5: digestato diverso da quello di colture fresche” e, secondo il Regolamento, esso deve soddisfare almeno uno dei criteri di stabilità di seguito indicati:

- il tasso di assorbimento dell'ossigeno (*Oxygen Uptake Rate*, **OUR**); indicatore del grado di decomposizione della materia organica biodegradabile durante un periodo di tempo determinato; *criterio*: un massimo di 25 mmol O₂/kg di sostanza organica/h;
- il potenziale di produzione di biogas residuo (*Residual Biogas Potential*, **RBP**); indicatore del gas rilasciato da un digestato in un periodo di 28 giorni e misurato in base ai solidi volatili contenuti nel campione; *criterio*: un massimo di 0,25 l di biogas/g di solidi volatili.

Nel presente lavoro, commissionato dal Consorzio Italiano Compostatori (CIC), sono stati analizzati e messi a confronto i risultati delle analisi di entrambi i criteri di stabilità effettuati su campioni di digestato provenienti da impianti di trattamento della frazione organica di rifiuti urbani (FORSU), valutandone il rispetto dei limiti precisati nel Regolamento. I campioni sono stati forniti da impianti integrati di digestione anaerobica e compostaggio aerobico consorziati CIC. A completamento del quadro, è stata condotta una caratterizzazione dei parametri chimici essenziali al fine di inquadrare questa tipologia di matrice da un punto di vista agronomico; infine, sono state fatte delle correlazioni considerando alcuni dei parametri di processo degli impianti presso i quali sono stati prelevati i digestati oggetto dell'indagine.

2. Relazione

2.1 Materiali e metodi

Per il presente studio, il CIC ha fornito un totale di quattordici campioni di digestato derivanti da sette impianti integrati di digestione anaerobica e compostaggio aerobico; ha fornito altresì delle indicazioni in merito ai parametri di processo degli impianti in questione, tra cui solidi totali (o sostanza secca) del materiale caricato nel digestore anaerobico, temperatura di processo, tempo di ritenzione idraulica, ed un'indicazione della ricetta di avvio alla fase di compostaggio aerobico. Ad ogni campione di digestato, associato al suo impianto, è stato assegnato un codice preceduto dal numero 1- o 2- in riferimento al primo (invernale) o secondo (estivo) ciclo di campionamento.

L'analisi del tasso di assorbimento di ossigeno (**OUR** – *Oxygen Uptake Rate*) è stata effettuata secondo la metodica standard UNI EN 16087-1:2020 [2] che descrive la determinazione dell'attività biologica aerobica dei substrati di coltivazione e ammendanti o dei loro costituenti. La procedura prevede la misura della velocità di consumo di ossigeno da parte del materiale in esame sospeso in acqua e posto in un contenitore a chiusura ermetica. Esso viene determinato tramite la misurazione della variazione di pressione nello spazio di testa del contenitore. La prova viene eseguita ad una temperatura di 30 °C e il dato analitico esprime il quantitativo di ossigeno assorbito per chilo di sostanza organica nell'unità di tempo (mmolO₂/kgSV/h). Il test **OUR** costituisce un'indicazione del grado di decomposizione della sostanza organica biodegradabile nell'unità di tempo. In linea generale, a maggiori livelli di stabilità del materiale corrispondono minori livelli di degradazione aerobica e quindi valori di assorbimento di ossigeno minori.

La misura del potenziale metanigeno residuo (**RBP** - *Residual Biogas Potential*) è stata effettuata con il sistema sviluppato da CRPA Lab adattando il metodo del potenziale biochimico di metanazione per le biomasse (**BMP** – *Biochemical Methane Potential*) UNI EN ISO 11734:2004 [3]. Il test **RBP** è condotto in mesofilia alla temperatura di 38°C e viene avviato utilizzando un inoculo batterico pre-incubato alle stesse condizioni del test e contenente una microflora batterica diversificata; per garantire il giusto apporto di nutrienti viene aggiunta una soluzione di micro e macroelementi. Il test ha una durata pari a 28 giorni ed il risultato

finale è espresso come produzione specifica di biogas (Nm^3_{biogas} / tSV) o di metano (Nm^3CH_4 / tSV).

2.2 Risultati e discussione

In Tab. 1 e in Tab. 2 sono riportati i valori medi e le deviazioni standard relativi ai criteri di stabilità dei digestati analizzati durante il primo e il secondo ciclo di campionamento. Essi presentano complessivamente un tenore di solidi totali tra 3,7 - 40,7 % ed un contenuto di solidi volatili tra 48,2 - 65,4 %ST; i valori di azoto totale Kjeldahl si attestano tra i 2,5 - 14,5 %ST con azoto ammoniacale (N-NH₄⁺) compreso tra 12 - 55 %NTK; il potassio è compreso in un intervallo di 0,5 - 13,4 %ST ed il fosforo tra 0,6 - 3,5 %ST.

Il 93% dei digestati analizzati rientra nei limiti di stabilità previsti dal Reg. UE 2019/1009 per il parametro RBP, mentre solo il 43% dei campioni rientra nei limiti per il test OUR.

| Campione | | ST | SV | OUR | RBP | |
|----------|---------|-------|-------|---------------------------|----------------|---------------------|
| | | % | %ST | $\frac{mmolO_2}{kg SV b}$ | Nm^3CH_4/tSV | Nm^3_{biogas}/tSV |
| 1-DIG 01 | Media | 23,12 | 65,43 | 53,9 | 120,7 | 195,6 |
| | Dev Std | 0,94 | 1,16 | 2,9 | 7,9 | 13,4 |
| 1-DIG 02 | Media | 38,25 | 65,02 | 22,0 | 91,2 | 138,9 |
| | Dev Std | 0,66 | 0,70 | 1,7 | 4,3 | 6,0 |
| 1-DIG 03 | Media | 22,98 | 60,79 | 18,2 | 49,6 | 75,4 |
| | Dev Std | 0,83 | 4,42 | 2,5 | 3,3 | 7,1 |
| 1-DIG 04 | Media | 17,40 | 48,17 | 22,0 | 119,3 | 182,6 |
| | Dev Std | 0,51 | 1,13 | 1,0 | 3,2 | 8,2 |
| 1-DIG 05 | Media | 23,80 | 60,99 | 55,4 | 89,9 | 123,1 |
| | Dev Std | 0,52 | 3,81 | 2,8 | 6,1 | 8,7 |
| 1-DIG 06 | Media | 25,50 | 56,81 | 30,3 | 69,5 | 109,3 |
| | Dev Std | 0,26 | 1,15 | 1,2 | 5,3 | 5,8 |
| 1-DIG 07 | Media | 28,44 | 61,23 | 25,1 | 78,7 | 126,5 |
| | Dev Std | 0,67 | 0,38 | 3,1 | 10,6 | 16,8 |
| MIN | | 17,40 | 48,17 | 18,2 | 49,6 | 75,4 |
| MAX | | 38,25 | 65,43 | 55,4 | 120,7 | 195,6 |

Tab. 1 – Tabella riassuntiva dei parametri di stabilità OUR ed RBP dei campioni di digestato da FORSU relativi al primo ciclo di campionamento (periodo estivo): valori medi e deviazioni standard.

| Campione | | ST | SV | OUR | RBP | |
|----------|---------|-------|-------|---------------------------|----------------|---------------------|
| | | % | %ST | $\frac{mmolO_2}{kg SV b}$ | Nm^3CH_4/tSV | Nm^3_{biogas}/tSV |
| 2-DIG 01 | Media | 35,01 | 56,73 | 22,12 | 118,30 | 187,17 |
| | Dev Std | 5,99 | 1,98 | 0,70 | 17,87 | 29,10 |
| 2-DIG 02 | Media | 40,74 | 57,92 | 18,31 | 99,03 | 164,93 |
| | Dev Std | 23,39 | 1,63 | 4,29 | 17,14 | 31,04 |
| 2-DIG 03 | Media | 26,19 | 63,64 | 17,07 | 79,70 | 128,03 |
| | Dev Std | 10,37 | 3,35 | 1,44 | 2,75 | 7,21 |

Segue

| Campione | | ST | SV | OUR | RBP | |
|----------|---------|-------|-------|---------------------------|----------------|---------------------|
| | | % | %ST | $\frac{mmolO_2}{kg SV h}$ | Nm^3CH_4/tSV | Nm^3_{biogas}/tSV |
| 2-DIG 04 | Media | 15,84 | 49,46 | 40,68 | 150,81 | 231,00 |
| | Dev Std | 14,05 | 2,92 | 0,65 | 5,58 | 8,65 |
| 2-DIG 05 | Media | 22,83 | 59,85 | 52,14 | 100,13 | 144,60 |
| | Dev Std | 0,89 | 0,25 | 4,03 | 3,94 | 8,14 |
| 2-DIG 06 | Media | 17,85 | 55,91 | 38,64 | 111,60 | 172,10 |
| | Dev Std | 0,75 | 1,13 | 4,98 | 12,49 | 22,26 |
| 2-DIG 07 | Media | 3,70 | 54,86 | 67,09 | 78,70 | 280,20 |
| | Dev Std | 0,61 | 1,60 | 14,58 | 13,62 | 16,72 |
| MIN | | 3,70 | 49,46 | 17,1 | 78,7 | 128,0 |
| MAX | | 40,74 | 63,64 | 67,1 | 150,8 | 280,2 |

Tab. 2 – Tabella riassuntiva dei parametri di stabilità OUR ed RBP dei campioni di digestato da FORSU relativi al secondo ciclo di campionamento (periodo invernale): valori medi e deviazioni standard.

Tali digestati analizzati presentano struttura, granulometria e umidità molto diverse tra loro e ciò dipende sia dal tipo di impianto (umido, secco o semi-secco), sia dal tipo di rifiuto conferito, da come viene effettuata la raccolta differenziata nel bacino di afferenza e dal trattamento della FORSU condotto in impianto, nonché dai rapporti di miscelazione con altri materiali quali strutturante verde, fanghi, frazioni chiarificate nelle ricette per il digestore anaerobico ed il compostaggio aerobico.

2.3 Effetto della tipologia di matrice al carico

Nei campioni di digestato analizzati è presente una frazione di materiale inerte, plastiche, sassi, vetri ed impurità in proporzioni molto diversificate, nonché una quantità di strutturante legnoso in rapporti variabili a seconda dell'impianto; ne deriva che composizione della FORSU, eventuali pretrattamenti di vagliatura e triturazione effettuati in impianto e le diverse ricette di alimentazione preparate per la fase di digestione anaerobica rendono molto eterogenei tra loro i digestati. La presenza più o meno preponderante di strutturante lignocellulosico, ad esempio, determina variazioni significative nella percentuale di solidi volatili sui solidi totali. La cinetica di degradazione anaerobica ed aerobica da parte microrganismi può essere molto diversificata a seconda della complessità molecolare delle strutture lignocellulosiche; ciò spiega il motivo per cui non sempre è possibile individuare correlazioni tra il contenuto di solidi volatili e gli indici di stabilità. Nel grafico in Fig. 1, nella parte sinistra rispetto alla barra nera in grassetto si trovano i digestati che rientrano nei limiti di stabilità previsti dal Reg. UE 2019/1009 per il parametro OUR; nella parte destra si trovano invece i digestati con una maggiore attività di respirazione aerobia. Il 43 % dei campioni rientra nel limite previsto per tale parametro.

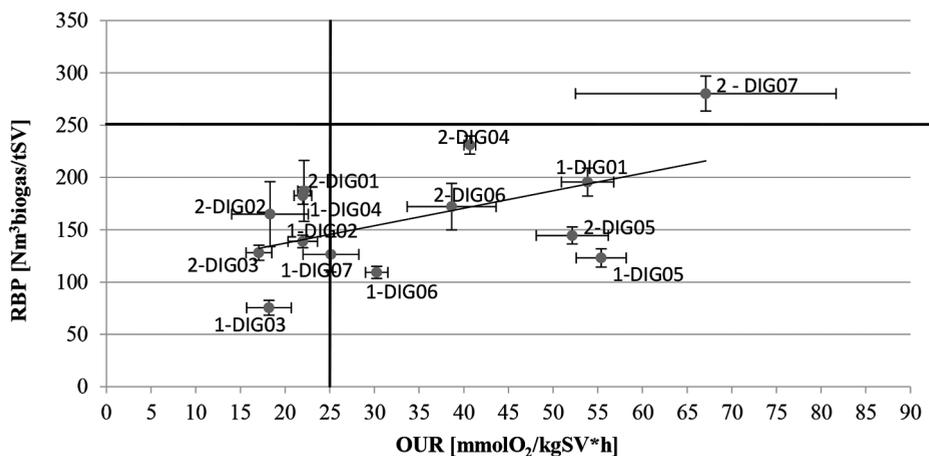


Fig. 2 – Il grafico mostra gli indici di stabilità RBP (potenziale residuo di biogas) ed OUR (tasso di assorbimento di ossigeno). Le barre nere delimitano il limite previsto per entrambi i parametri dal Regolamento UE 2019/1009.

2.4 Effetto del tempo di ritenzione su OUR del digestato

Ricercando una relazione tra i parametri di stabilità ed i parametri di processo degli impianti oggetto del monitoraggio, è stato identificato un nesso tra i tempi di ritenzione all'interno del fermentatore ed il valore di OUR. A maggiori tempi di ritenzione in digestione anaerobica corrispondono infatti valori di OUR più bassi, secondo un andamento che appare esponenzialmente decrescente. In Fig. 2 viene mostrata la correlazione tra i valori di OUR e di HRT per ciascuno dei due cicli di campionamento (inverno ed estate) e per l'anno complessivo. Dalla valutazione complessiva sono stati esclusi il campione 1-DIG05, cerchiato in Fig. 1, il quale non risulta idoneo all'applicabilità del test OUR in quanto contiene più del 20% di materiale con diametro maggiore di 10 mm; il 2-DIG07, a causa di un errore di campionamento (trattasi di digestato liquido/frazione chiarificata di esso); il 2-DIG01 (campione outlier, presenta un comportamento anomalo e distante dalle altre osservazioni).

Dai grafici è possibile apprezzare una buona correlazione tra OUR e HRT, in particolare nel ciclo di campionamento estivo (secondo grafico di Fig. 2); osservando la relazione complessiva (inverno + estate) invece, il coefficiente di correlazione risulta pari a 0,7761.

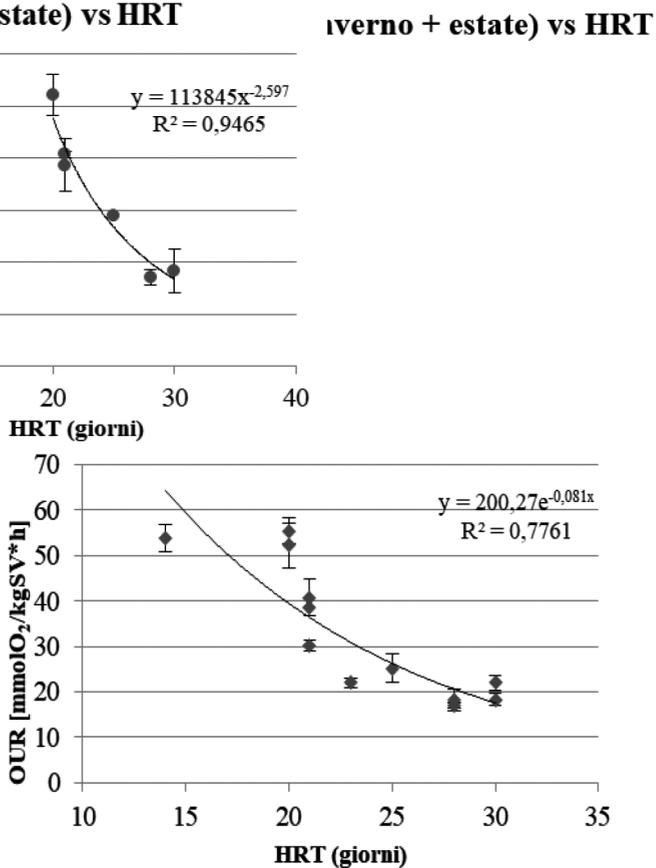
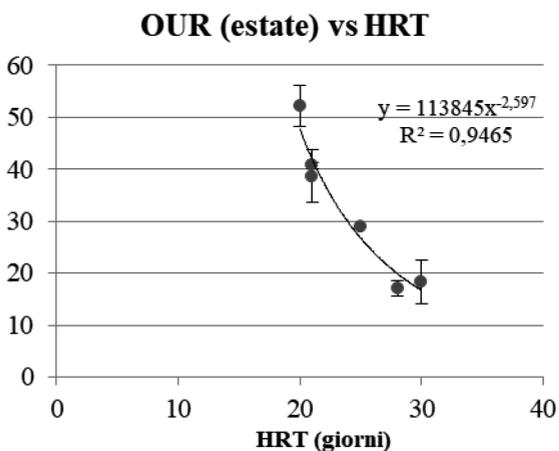
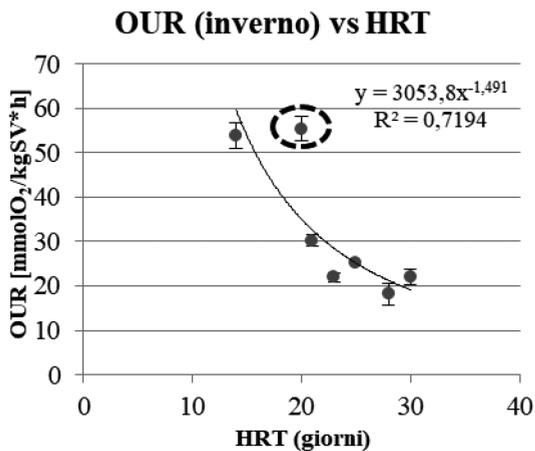


Fig. 3 – Correlazione tra HRT e OUR per ciascun ciclo di campionamento (estate e inverno) e per il monitoraggio complessivo. Per l'OUR sono stati considerati i valori medi delle tre repliche. Sono mostrate le barre di errore con la deviazione standard.

Questa relazione è confermata applicando un raggruppamento dei campioni in classi che descrivono tempi di ritenzione ad intervalli di circa cinque giorni (14-20; 21-25; 26-30 giorni) come mostrato in Fig. 3; è possibile osservare una diminuzione del valore medio di OUR all'aumentare del tempo di ritenzione idraulica (Fig. 4) del processo di digestione anaerobica.

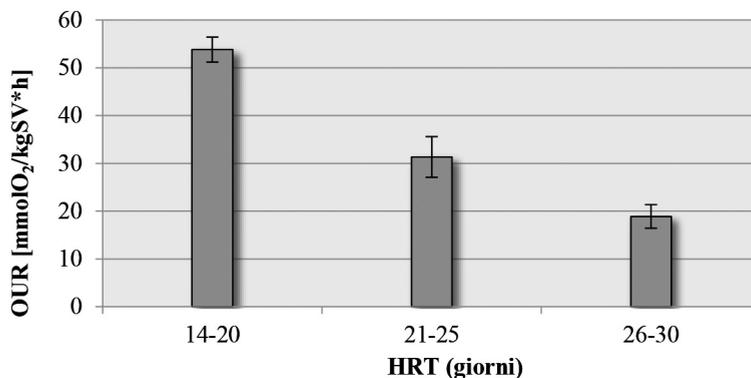


Fig. 4 – Valori medi di OUR per ciascun intervallo di tempo di ritenzione idraulico (HRT) della digestione anaerobica. Il campione 2DIG-01 e 2-DIG07 non sono stati inclusi nella valutazione in quanto considerabili come outliers.

Queste relazioni saranno in ogni caso da approfondire alla luce di ulteriori analisi su un maggior numero di campioni e in relazione ad altri parametri operativi, quali la quantificazione puntuale dei substrati in ingresso e del digestato in uscita e la capacità produttiva di biogas dell'impianto di digestione anaerobica.

3. Conclusioni

Il Consorzio Italiano Compostatori (CIC) ha fornito 14 campioni totali di digestati provenienti da impianti integrati di trattamento della FORSU che sono stati utilizzati per lo studio dei criteri di stabilità per ammendanti e substrati di coltivazione previsti dal nuovo Reg. CE 2019/1009. I criteri analizzati sono OUR – Oxygen Uptake Rate e RBP – Residual Biogas Potential. È stata, inoltre, effettuata una caratterizzazione chimica dei digestati valutando parametri di interesse agronomico tra i quali solidi totali (ST), solidi volatili (SV), azoto totale Kjeldahl (NTK), azoto ammoniacale (N-NH₄⁺), fosforo (P) e potassio (K).

I risultati ottenuti portano alle seguenti considerazioni:

- il 93 % dei digestati analizzati rientra nei limiti di stabilità previsti dal Reg. 2019/1009 per il parametro RBP (< 0,25 l biogas / gSV)
- il 43 % dei campioni che rientra nei limiti di stabilità previsti dal Reg. 2019/1009 per il parametro OUR (< 25 mmolO₂ / kgSV*h);
- è stata trovata una certa relazione tra tempo di ritenzione idraulico (HRT) e tasso di assorbimento di ossigeno (OUR): maggiori sono i tempi di ritenzione per la digestione anaerobica e maggiormente il digestato in uscita risulta stabilizzato, il che si traduce in una più bassa attività di respirazione della microflora aerobia (e quindi in OUR minori);
- è stato riscontrato che, mediamente, i digestati del periodo autunno-invernale presentano un valore di RBP minore rispetto ai digestati del periodo primaverile-estivo.

Ulteriori correlazioni tra parametri di processo, tipologia di matrici utilizzate, sostanza secca

in ingresso, rapporto SV/ST e layout impiantistico dovranno essere riviste ed approfondite alla luce di un maggiore e più significativo numero di analisi e di ulteriori approfondimenti.

Bibliografia

[1] Regolamento (UE) 2019/1009 del Parlamento europeo e del Consiglio, 5 giugno 2019

[2] UNI EN 16087-1:2020; Ammendanti e substrati di coltivazione – Determinazione dell'attività biologica aerobica – Parte 1: Tasso di assorbimento dell'ossigeno (OUR)

[3] UNI EN ISO 11734:2004; Qualità dell'acqua – Valutazione della biodegradabilità anaerobica ultima di composti organici in fanghi digeriti – Metodo per misurazione della produzione di biogas;

Risultati operativi di produzione di biogas da FORSU

Pietro Paolo Cella Mazzariol, Cella@entsorga.com, Gian Francesco Galanzino, galanzino@entsorga.com, Elisa Vittoria Gbiggini, gbiggini@entsorga.com, [Pierfrancesco Pitardi, pitardi@entsorga.com](mailto:Pierfrancesco.Pitardi@entsorga.com), Gruppo Entsorga, info@entsorga.com, Tortona (AL)

Riassunto

Il Gruppo Entsorga ha sviluppato diversi impianti di trattamento rifiuti che trattano la FORSU (Frazione Organica del Rifiuto Solido Urbano) proveniente dalla raccolta differenziata, un materiale organico costituito principalmente da residui di cucina. Questa matrice viene pretrattata meccanicamente, per allontanare contaminanti, e inviata alla digestione anaerobica che la stabilizza recuperando energia e materia. I prodotti finali sono biogas e digestato: il primo, costituito da metano e anidride carbonica, può essere valorizzato tal quale a scopi energetici oppure condizionato per l'immissione nella rete di distribuzione come biometano; il digestato, componente semisolido del processo, viene lavorato per ottenere compost. I dati di Bibliografia scientifica riportano valori di produzione di biogas inferiori rispetto a quelli che si monitorano nell'impianto di Territorio e Risorse a Santhià (VC), costruito da Entsorga con tecnologia di digestione anaerobica semi-dry. Una più alta produzione di biometano riduce i payback period di questa soluzione e può influire in modo significativo su decisioni di fattibilità economica. Scopo di questo paper è discutere i risultati operativi ottenuti in campo in un periodo di osservazione di 1 anno e fornire un nuovo dato di riferimento per la produzione di metano da FORSU.

Summary

The Entsorga Group constructed a series of waste treatment facilities to treat the organic material OFMSW (Organic Fraction of Urban Solid Waste), that is collected through separate collection and primarily consists of food scraps. Anaerobic digestion stabilizes this matrix by recovering energy and matter after it has been mechanically processed to eliminate impurities. The results of this process are biogas and digestate. The digestate, a semi-solid product of the process, is sent to the composting treatment to produce compost. The biogas, which is composed of methane and carbon dioxide, can be directly converted as energy, or upgraded as biomethane for the public grid. The data from the scientific literature indicate lower biogas production values than those that are being monitored at Territorio e Risorse plant in Santhià (VC), which Entsorga constructed using semi-dry anaerobic digestion technology. The payback periods of this solution are reduced by increased biomethane production, which also has a substantial impact on the economic sustainability judgments. The aim of this paper is to discuss the operational results obtained over a 1-year observation period and to provide a new benchmark for methane production from FORSU.

1. Introduzione

La digestione anaerobica è un processo biologico di degradazione, che avviene in assenza di ossigeno, e consente sia un recupero materiale tramite compost, sia un recupero energetico mediante la produzione di biocarburanti. È nato un interesse crescente verso l'impiego di

questa tecnologia per la produzione di biocombustibili, utilizzando la frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU). L'utilizzo di questa matrice rappresenta una duplice fonte di guadagno per l'impianto mentre i servizi forniti alla collettività sono l'eliminazione di rifiuti con impatti ambientali minimi, il bilancio energetico positivo, costi contenuti e uno sfruttamento sostenibile del carbonio organico presente che altrimenti finirebbe perso in discarica. I dati di Bibliografia sulla produzione specifica di biogas sono inferiori rispetto a quelli registrati durante l'avviamento dell'impianto di Territorio e Risorse a Santhià (provincia di Vercelli, Italia). L'impianto, ampliato con la sezione di digestione anaerobica con tecnologia semi-dry, registra insieme ad altri impianti in Italia che lavorano con FORSU una produzione specifica di 190 Nm³/ton di materiale alimentato, valore superiore rispetto a quelli trovati in letteratura. Lo scopo di quest'articolo sarà quello di argomentare l'incremento registrato confrontare i risultati con articoli più recenti, esaminando matrici provenienti da diversi paesi e gli effetti del pretrattamento.

2. Stato dell'arte

2.1 Fondamenti sulla digestione anaerobica

La digestione anaerobica è un processo biologico di degradazione della sostanza organica finalizzata alla produzione di un biogas, composto principalmente da CH₄ e CO₂, dove il metano costituisce circa 2 terzi del biogas totale [1]. Il processo permette attraverso reazioni di idrolisi, acidogenesi, acetogenesi e metanogenesi, di scomporre le principali macromolecole organiche (carboidrati, proteine e lipidi) ottenendo un gas ad alto contenuto energetico ed una matrice organica più stabile rispetto al rifiuto di partenza, detta digestato.

Di seguito i principali parametri chiave utilizzati in questo lavoro nello studio della reazione.

- TS (%): total solid. È il rapporto, espresso come percentuale, tra il peso del campione dopo essiccamento in stufa a 105 °C per 24 ore e il peso del campione tal quale;
- TVS (%): total volatile solid. È il rapporto, espresso come percentuale rispetto alla sostanza secca, ovvero il rapporto tra il peso del campione essiccato in muffola a 600 °C per 6 ore ed il campione dopo essiccamento in stufa a 105 °C per 24 ore;
- CH₄ (%): Percentuale di metano. È la percentuale in volume del metano nel biogas;
- SBP (Nm³ biogas / ton): specific biogas potential È il rapporto tra il biogas prodotto durante la reazione, espresso in Nm³, e il materiale alimentato a processo espresso in tonnellate;
- SMP (Nm³ metano / ton VS): specific methane potential. È il rapporto tra il metano prodotto durante la reazione di digestione, espresso in Nm³, e le tonnellate di solidi volatili.

Le condizioni normali fanno riferimento a 1 atm e 273 °K.

La SMP e SBP sono legate dalla seguente formula:

$$SBP = SMP * \frac{TS(\%) * TVS(\%)}{CH_4(\%)}$$

L'attività biologica anaerobica è stata evidenziata in un ampio intervallo di temperatura grazie alla presenza di differenti specie di microrganismi classificabili in base all'intervallo termico ottimale di crescita: psicrofili (temperature inferiori a 20°C), mesofili (temperature comprese tra 35 – 42,5°C) e termofili (temperature comprese tra 50 – 55°C). A seconda della concentrazione di solidi totali all'interno del reattore si differenziano 3 condizioni operative del processo, da cui scaturiscono le differenti soluzioni tecnologiche disponibili sul mercato per differenti matrici: wet (TS <10 %), semi-dry (TS < 20 %) e dry (TS >20 %).

Il processo produce buoni risultati su diversi substrati contenenti carbonio, come fanghi da depurazione delle acque reflue, reflui zootecnici, rifiuti domestici, ma trova nella FORSU un'applicazione di rilievo grazie al corretto bilanciamento dei nutrienti e concentrazioni di impurità basse che garantiscono uno sviluppo stabile dei microrganismi. È possibile, inoltre, inviare nello stesso digestore più tipologie di matrici organiche; si parla in questo caso di co-digestione.

Inizialmente il trattamento anaerobico riguardava la parte putrescibile dei rifiuti solidi urbani (RSU) separata dalla parte a più alto potere calorifico dopo una linea di selezione meccanica semplificata, mediamente complessa e complessa. Nella tabella seguente sono stati riassunte le rese di biogas trovate in letteratura per matrici organiche derivanti da rifiuti solidi urbani (RSU), dalla frazione organica dei rifiuti urbani proveniente da grandi utenze e quella proveniente dalla raccolta urbana.

| Frazione organica da: | Selezione meccanica RSU | Grandi utenze | Provenienza domestica |
|---|-------------------------|---------------|-----------------------|
| SMP, m ³ CH ₄ /ton VS | 160-370 | 450-490 | 370-400 |

Tab. 1 – *Tratta con modifiche dal rapporto APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici) [1].*

Come di evince dalla tabella 1 le frazioni organiche selezionate alla fonte sono caratterizzate da una maggiore produzione specifica di metano per tonnellata di solido volatile. Questo è dovuto alla migliore selezione del materiale alla fonte.

2.2 Caratteristiche della FORSU

La grande eterogeneità della FORSU rende difficile predire con certezza la produzione specifica di biogas; le caratteristiche fisico-chimiche sono fortemente stagionali e legate alla regione geografica di provenienza ed ai sistemi di raccolta. Campuzano and González-Martínez. [2] hanno studiato le caratteristiche fisiche, chimiche, bromatologiche della FORSU, da diversi paesi e le loro produzioni specifiche di metano. In basso una tabella (Tab. 2) riassuntiva delle principali caratteristiche della FORSU.

| Paesi | TS | TVS / TS | SMP (Nm ³ CH ₄ /tonTVS) | SBP (Nm ³ biogas /ton) |
|------------------|--------|----------|---|-----------------------------------|
| Belgio | 25,50% | 94,12% | 319,00 | 132,00 |
| Cina | 27,45% | 85,66% | 319,00 | 128,43 |
| Colombia | 16,00% | 94,38% | 297,00 | 77,32 |
| Danimarca | 29,10% | 84,44% | 509,13 | 215,69 |
| Germania | 25,50% | 88,24% | 528,00 | 204,83 |
| Irlanda | 29,40% | 95,24% | 529,00 | 255,38 |
| Italia | 27,28% | 87,79 % | 522,04 | 213,06 |
| Libano | 18,60% | 92,47% | 350,00 | 103,79 |

Segue

| Paesi | TS | TVS / TS | SMP (Nm ³ CH ₄ /tonTVS) | SBP (Nm ³ biogas /ton) |
|---------------|--------|----------|---|-----------------------------------|
| Messico | 29,70% | 75,08% | 545,00 | 209,54 |
| Corea del Sud | 21,10% | 82,46% | 502,00 | 150,60 |
| Spagna | 25,13% | 72,41% | 221,50 | 69,51 |
| Regno Unito | 26,67% | 91,25% | 402,00 | 168,66 |
| Stati Uniti | 32,10% | 79,23% | 306,00 | 134,18 |

Tab. 2 – *Tratta da Campuzano et al. [2] con modifiche: per ogni paese è stata indicata la media dei valori riportati per diverse città, divise per paese. Per la media della Spagna sono stati esclusi i valori riportati per la città di Cadiz in quanto ritenuti non rappresentativi. SBP è stata calcolata considerando una percentuale di metano nel biogas pari al 58 %.*

Le produzioni di metano sono comuni sia per sistemi dry, wet, e semi-dry [2]. TS dipende dalle modalità di raccolta dell'organico e dalla stagionalità; a temperature calde vengono spesso associati valori più bassi di sostanza secca. TVS e SMP sono legate rispettivamente alle abitudini alimentari, alla stagionalità e all'efficacia della raccolta differenziata. In un rapporto dell'European Environment Agency (EEA) [3] è riportata l'efficienza della raccolta differenziata per i paesi dell'unione europea nel 2017. Secondo questo rapporto Belgio, Danimarca, Germania, Irlanda, Italia, Spagna e Regno Unito, presenti in tabella 2, differenziano rispettivamente il 65 %, 50 %, 62 %, 35 %, 60 %, 10 %, 45 % dei rifiuti organici prodotti. Confrontando questi valori con SMP e SBG rispettivi, ad eccezione di Belgio e Irlanda, nei paesi dove la raccolta differenziata funziona bene, FORSU è un substrato più adatto alla digestione anaerobica.

2.3 Tipologie di pretrattamento

La linea di pretrattamento della FORSU da alimentare ad un processo di digestione anaerobica è costituita dalle seguenti operazioni: lacerazione sacchi, rimozione metalli, separazione delle plastiche e inerti, mediante vagliatura (vaglio a dischi, vaglio a tamburo rotante e vibrovaglio).

In letteratura alcune applicazioni in scala di laboratorio prevedono trattamenti di tipo chimico, fisico e biologico finalizzati ad incrementare l'efficienza della fase idrolitica del processo di digestione, conosciuto come lo step limitante dell'intero processo [1].

Lindmark et al. [4] hanno studiato l'effetto che due differenti pretrattamenti applicati su scala reale hanno sulla produzione specifica di biogas da digestione di insilati. I test, condotti in reattori batch, evidenziano come le produzioni specifiche del materiale che ha subito un pretrattamento sono maggiori del materiale non trattato come si vede in figura 1 in basso.

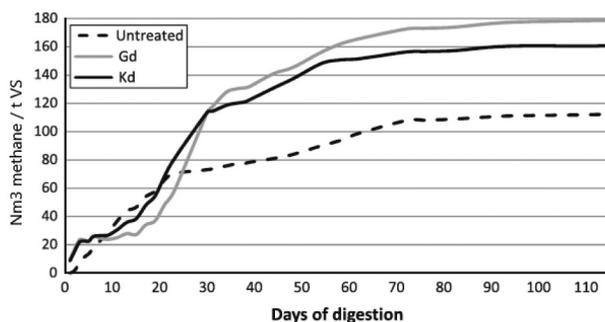


Fig. 1 – Tratta da Lindmark et al. [4] con modifiche. Le prove sono state condotte in reattore batch per 115 giorni a 37 °C su insilati. Il trattamento Gd (Grubben deflaker) e Krima disperser (kd) ideati per l'industria della carta, basati su dei dischi rotanti che spappolano il materiale.

Entrambi i pretrattamenti producono una riduzione della granulometria del materiale da inviare a digestione. Il pretrattamento denominato “Gd” produce una distribuzione più spostata verso particelle di dimensioni minori di 0,125 mm, (assenti nel materiale di partenza) mentre con il pretrattamento “Kd” si ottiene una riduzione analoga ma alcune particelle con taglia superiore al mm finiscono nel materiale da alimentare. Questo si traduce in una SBP inferiore rispetto al pretrattamento Gd. La riduzione della granulometria del materiale ha un effetto positivo sulla cinetica della reazione di digestione anaerobica, come si vede dalla figura 2, in particolare per il primo step di idrolisi dei macronutrienti, grazie alla maggiore superficie messa a disposizione per l'attacco da parte dei batteri.

3. Impianto di Territorio e Risorse S.r.l. di Santhià

3.1 Descrizione impianto

L'impianto di Territorio e Risorse S.r.l. di Santhià (VC) costruito dal gruppo Entsorga, ma di proprietà del gruppo Iren, tratta FORSU integrando la digestione anaerobica con il compostaggio. La sezione di pretrattamento è costituita da una tramoggia apri-sacchi, uno stadio di deferrizzazione e da due separatori a griglie forate, con forometria 27 mm, per la separazione delle plastiche (questa quantità è circa il 15% rispetto al materiale alimentato, con un trascinarsi di sostanza organica pari al 7 % e un'umidità del 65 %). Le macchine sono dotate internamente di una serie di martelli calettati su un albero rotante che contribuiscono alla separazione di plastiche e inerti e alla spremitura della materia organica. Il sottovaglio ottenuto viene depositato in una seconda fossa di ricezione e alimentato con una pompa a pistone nel digestore. Di seguito un'immagine del materiale ottenuto dal pretrattamento, molto simile ad una parea.



Fig. 2 – Materiale uscente dalla linea di pretrattamento di Territorio e Risorse. Sono riconoscibili sementi e fili d'erba ma la restante parte dell'organico ha l'aspetto di un fango.

Il processo di digestione anaerobica si sviluppa all'interno di un reattore PFR orizzontale (Plug Flow Reactor), operante in condizioni mesofile (38 – 42 °C). Il riscaldamento avviene tramite insufflazione di vapore. L'agitazione interna del digestato è garantita da un agitatore assiale con pale che concorre sia all'agitazione verticale sia al movimento orizzontale del flusso a pistone. Il volume interno, circa 2500 m³, è occupato dalla fase attiva per l'85 % e il restante dal biogas che si forma. Lo scarico del digestato avviene tramite una pompa a pistone in alimentazione verso la sezione di compostaggio. Il biogas prodotto fluisce verso la linea gas (sezione di upgrading, torcia e gasometro) spinta da una soffiante. Il contenuto atteso di metano nel biogas può variare tra il 55 % e il 62 %. La sezione di upgrading è composta da un sistema di abbattimento dei composti presenti in tracce nel biogas, ammoniaca, idrogeno solforato e composti organici volatili (VOC) e da 3 stadi di membrane per la separazione finale dell'anidride carbonica dal metano, immesso in rete.

Durante il periodo considerato, sono state conteggiate le quantità alimentate a digestore e del biogas prodotto attraverso rispettivamente celle di carico e misuratore di portata ad ultrasuoni. La misura della composizione del biogas è stata misurata attraverso un analizzatore con sensori a infrarossi non dispersivi (NDIR) per la misura di anidride carbonica e metano. Per la misura di TS e TVS sono state utilizzate le tecniche descritte nel paragrafo 2.1.

3.2 Risultati operativi

I risultati operativi dell'impianto sono elencati nella tabella 3 di seguito.

| Mese | Ingestato alimentato (ton/mese) | Verde in alimentazione (%) | TS (%) | TVS (%) | biogas (Nm ³ /mese) | Metano (%) | SBP (Nm ³ biogas/ton ingestato) | SMP (Nm ³ metano / ton VS) |
|--------|---------------------------------|----------------------------|--------|---------|--------------------------------|------------|--|---------------------------------------|
| giu-21 | 378,12 | 0,00% | 29,19% | 81,74% | 33391 | 60,61% | 88,31 | 224,32 |
| lug-21 | 713,747 | 0,00% | 27,36% | 83,85% | 126712 | 60,39% | 177,53 | 467,27 |
| ago-21 | 623,619 | 0,00% | 27,66% | 84,18% | 110598 | 58,77% | 177,35 | 447,67 |

Segue

| Mese | Ingestato alimentato (ton/mese) | Verde in alimentazione (%) | TS (%) | TVS (%) | biogas (Nm ³ /mese) | Metano (%) | SBP (Nm ³ biogas/ton ingestato) | SMP (Nm ³ metano / ton VS) |
|---------|---------------------------------|----------------------------|--------|---------|--------------------------------|------------|--|---------------------------------------|
| set-21 | 1249,46 | 0,00% | 27,28% | 84,02% | 244124 | 58,15% | 195,38 | 495,64 |
| ott-21 | 1584,39 | 0,00% | 27,62% | 83,92% | 335312 | 58,70% | 211,63 | 535,94 |
| nov-21 | 1499,66 | 0,00% | 28,56% | 82,96% | 301355 | 58,68% | 200,95 | 497,66 |
| dic-21 | 968,8 | 0,83% | 29,52% | 82,00% | 219301 | 58,43% | 226,36 | 546,30 |
| gen-22 | 775,96 | 7,02% | 31,10% | 82,85% | 161943 | 57,96% | 208,70 | 469,49 |
| feb-22 | 944,49 | 9,22% | 31,04% | 82,67% | 190297 | 56,59% | 201,48 | 444,40 |
| mar-22 | 1371,05 | 7,51% | 29,10% | 82,25% | 276888 | 57,81% | 201,95 | 487,72 |
| apr-22 | 1335,74 | 8,38% | 30,03% | 80,32% | 279296 | 58,16% | 209,09 | 504,24 |
| mag-22 | 1543,08 | 9,50% | 29,53% | 75,42% | 324329 | 61,80% | 210,18 | 583,31 |
| TO-TALE | 12988 | | | | 2603546 | | | |
| MEDIA | 1082 | 3,54% | 29,00% | 82,18% | 216962 | 58,84% | 200,46 | 494,30 |

Tab. 3 – I risultati dell'impianto di digestione anaerobica Territorio e Risorse, Santhià (VC).

Nel periodo considerato, l'alimentazione al processo ha mostrato una tendenza ad avere un TS più basso nei mesi caldi che è aumentato nei mesi invernali. Per dare maggiore struttura al materiale, soprattutto per aumentare il secco del digestato in uscita, è stato addizionato del verde vagliato fine, in quantità che non superano il 10 % in peso rispetto l'alimentazione. SBG si è sostanzialmente attestata intorno a valori prossimi a 200 Nm³ per tonnellata alimentata. Il conteggio di questa quantità è comprensivo dell'umidità presente nel biogas, che può essere ipotizzata intorno al 7 % in volume, ottenendo un valore di 190 Nm³ di biogas secco per tonnellata di materiale alimentato.

4. Conclusioni

La SBG della digestione anaerobica registrata nell'impianto di Santhià è risultata nella media rispetto alla produzione riportata nella tabella 2 per l'Italia, e superiore rispetto molti paesi, sia europei che extraeuropei. Questo è attribuibile principalmente a 2 fattori:

- La FORSU costituisce un buon substrato per la reazione in quanto possiede dei nutrienti bilanciati, richiede meno operazioni unitarie di separazione e minori costi di investimento e maggiori ricavi derivanti dalla valorizzazione del biogas a parità di rifiuto trattato;
- Il pretrattamento applicato produce un substrato simile ad una parea, perciò disponibile per l'attacco di microorganismi responsabili della degradazione della sostanza organica. Non si esclude che il processo di degradazione possa iniziare anche prima della reazione, durante lo stazionamento nella vasca di ricezione.

Il risultato è importante perché ottenuto su un impianto con scala reale, a regime con produzioni di biogas stabili, consolidando la digestione anaerobica della FORSU come percorso adatto alla produzione di biocombustibili.

Bibliografia

- [1] 'APAT Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici'. [Online]. Available: www.apat.it
- [2] R. Campuzano and S. González-Martínez, 'Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: A review', *Waste Management*, vol. 54. Elsevier Ltd, pp. 3–12, Aug. 01, 2016. doi: 10.1016/j.wasman.2016.05.016.
- [3] European Environment Agency, Bio-waste in Europe turning challenges into opportunities.
- [4] J. Lindmark, N. Leksell, A. Schnürer, and E. Thorin, 'Effects of mechanical pre-treatment on the biogas yield from ley crop silage', *Appl Energy*, vol. 97, pp. 498–502, 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.12.066.

STRUMENTI OPERATIVI E DI VALUTAZIONE PER LA GESTIONE DI MATERIALI ED ENERGIA IN UN'ECONOMIA CIRCOLARE

Una delle riforme strutturali del nostro Paese, conseguenti all'attuazione del PNRR, è il Programma Nazionale di Gestione dei Rifiuti, nelle intenzioni del Ministero visto come uno strumento di indirizzo per i territori, al fine di permettere loro una pianificazione mirata e basata sulle proprie specifiche necessità. Oltre al livello delle politiche pubbliche, sta diventando sempre più determinante, anche per le singole aziende, verificare la rispondenza delle proprie attività ai principi dell'economia circolare, per potersi presentare sul mercato come soggetti attivi nella transizione ecologica e migliorare la propria competitività. In questo convegno verranno pertanto ospitati contributi di istituzioni, imprese, enti di ricerca, che presentino approcci gestionali più sostenibili, buone prassi di prevenzione e risparmio di risorse, valutazioni ambientali e socio-economiche, in relazione a diverse attività produttive e di servizio.

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

Presidenti di sessione:

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

Sistemi di Gestione Integrata per il recupero dei materiali da Veicoli Fuori Uso abbandonati

Luca Pomili direzione@pomilids.it, Alessio Fabrizi, Pomili Demolizioni Speciali Srl, Monterotondo (Roma)

Riassunto

Un sistema di comunicazione digitale per partnership tra attori degli ambiti pubblico e privato, integrato con un gestionale per il tracciamento di tutte le operazioni di recupero, ritiro, trasporto e trattamento di Veicoli Fuori Uso (VFU) proprie a un impianto di autodemolizione che adotta stringenti criteri in tema Qualità, Ambiente e Sicurezza sul Lavoro, riscontrabili secondo standard internazionalmente riconosciuti e certificati da un organismo terzo, rappresenta la struttura essenziale di un Sistema di Gestione Integrata adatto a una corretta gestione del recupero di materiali da Veicoli “presunti abbandonati”. Il Sistema di Gestione Integrata, realizzato con software GE.A. e piattaforma-web Caronte24.com, utilizzato da Pomili Demolizioni Speciali Srl, impianto certificato da DNV e Centro di Raccolta Autorizzato in Area Metropolitana di Roma Capitale, può così garantire efficienza ed efficacia, con attività tempestive, tracciate e sicure.

Summary

A digital communication system for partnerships between actors in the public and private spheres, integrated with a management system for tracking all recovery, collection, transport and treatment operations of End-of-Life Vehicles (ELVs) belonging to a car wrecking centre that adopts stringent criteria which Quality, Environment and Safety, traceable to internationally recognised standards and certified by a third party body, represents the essential structure of an Integrated Management System suitable for proper management of the recovery of materials from “presumed abandoned” vehicles. The Integrated Management System, realised with GE.A. software and Caronte24.com web-platform, used by Pomili Demolizioni Speciali Srl: an Authorised Treatment Facility (ATF), inside the Metropolitan City of Rome, and an industrial plant certified by DNV, that can guarantee efficiency and effectiveness, with timely, tracked and secure activities.

1. Introduzione

Ogni anno soltanto nel territorio di Roma Capitale si stima il numero di oltre 2.500 Veicoli Fuori Uso (VFU) abbandonati, cioè rifiuti pericolosi da bonificare presenti nelle pubbliche vie. Un'autovettura, secondo lo studio “Material Recycling” di MATREC [1], è composta da materiali che a fine vita risultano riciclabili e utili per nuovi cicli produttivi. Considerando le problematiche riguardanti le materie prime, come rincari e approvvigionamenti, e in vista degli appuntamenti del 2035 (Piano europeo “Fit for 55” [2]: divieto di produrre e vendere auto a benzina o diesel) e del 2040 (Risoluzione del Senato italiano per l'eliminazione delle auto a combustione interna [3]), in armonia con gli obiettivi “LLF” (LLF: “Logistico”, piattaforma digitale e database; “Legislativo”, aggiornamenti normativi e procedure standard; “Futuro”, sistemi innovativi di ritiro dei VFU “porta a porta” per semplificare la procedura

di rottamazione al fine di evitare un aumento del degrado dei territori dove insiste l'abbandono dei mezzi) propri a un' "Autodemolizione: centro di economia circolare", come riportato sull'Environmental Engineering and Management Journal di Ottobre 2020 Vol. 19 No. 10 [4], l'implementazione e l'attuazione di procedure digitali di comunicazione e tracciamento del ritiro dei VFU abbandonati risultano decisive per i processi innovativi del sistema Paese e per un'efficace transizione ecologica per il loro reinserimento nel ciclo del recupero e riciclo di materia. Al fine quindi di garantire qualità, rispetto delle normative ambientali e di sicurezza sul lavoro e al contempo efficacia e tracciabilità delle procedure il Centro di Raccolta Autorizzato e impianto di Autodemolizione, certificato con Sistema di Gestione secondo criteri condivisi e standard internazionali, ha necessità di integrare il proprio operato con un gestionale e piattaforma di comunicazione digitale.

2. Relazione

Sebbene un veicolo sia potenzialmente riciclabile fino al 95%, mediamente un mezzo abbandonato e presente nelle pubbliche vie si presenta come una carcassa di rottame vandalizzata e per lo più non adatta al reimpiego di ricambi e contenente rifiuti pericolosi da mettere in sicurezza. La demolizione di VFU dà origine a una considerevole varietà di rifiuti, anche pericolosi e, in particolare: rottami ferrosi e non ferrosi, marmitte catalitiche, vetri, pneumatici, plastiche, batterie, oli esausti, carburante, altri liquidi come oli freni, antigelo, lavavetri, ecc. Questo flusso viene identificato nel Catalogo dell'Elenco Europeo dei Rifiuti (CEER) per la maggior parte al capitolo 16.01 "veicoli fuori uso appartenenti a diversi modi di trasporto e rifiuti prodotti dallo smantellamento di veicoli fuori uso e dalla manutenzione dei veicoli". Un'autovettura, secondo "Material Recycling" di MATREC, ha un peso medio totale di circa 1.050 kg. ed è composta in media per il 59% di acciaio, 8% alluminio, 6,4% ghisa, oltre a parti residuali di rame e ulteriori materiali [Tab. 1].

| Materiali | % | Peso (kg) |
|-------------------------------|------------|-------------|
| Acciaio | 59 | 619.5 |
| Zinco, Rame, Magnesio, Piombo | 2 | 21 |
| Gomma | 5.6 | 58.8 |
| Ghisa | 6.4 | 67.2 |
| Alluminio | 8 | 84 |
| Plastica | 9.3 | 97.65 |
| Adesivi e Vernici | 3 | 31.5 |
| Vetri | 2.9 | 30.45 |
| Tessili | 0.9 | 9.45 |
| Fluidi | 0.9 | 9.45 |
| Miscellanea | 2 | 21 |
| Totale (Veicolo) | 100 | 1050 |

Tab. 1 – *Composizione media di un'autovettura (Fonte: MATREC, Material Recycling [1])*

Oggi il prezzo di tutte le principali materie si conferma superiore a quello della prima parte di febbraio 2022 e ancor di più rispetto alle quotazioni pre-pandemia. Il Centro Studi Asso-lombarda su dati Pricepedia.it [5], in particolare riguardo ai metalli, registra aumenti spiccati: acciaio* (+207%), alluminio (+88%), ferro (+60%) e rame (+69%) [Tab. 2].

| | Ferro | Acciaio* | Alluminio | Rame |
|---|--------------|-----------------|------------------|-------------|
| Prima del conflitto rispetto al pre Covid (media 1-23 febbraio 2022 / media gennaio 2020) | +48,8% | +120,8% | +78% | +60,4% |
| 16 marzo 2022 rispetto al pre Covid (media 1-23 febbraio 2022 / media gennaio 2020) | +59,8% | +207,3% | +88,4% | +68,6% |

* Le variazioni dell'acciaio sono calcolate rispetto al valore medio mensile di maggio 2020.

Tab. 2 – Fonte: Centro Studi Assolombarda su dati Princepedia.it [5]

Si rende dunque necessario un Sistema di Gestione Integrata al fine di poter chiudere, col suo ultimo tassello, il cerchio della filiera Automotive e garantire la corretta gestione di VFU e il recupero di materia per le esigenze dell'industria nazionale come ad esempio per i rottami di ferro [Tab. 3].

| Provenienza del rottame di ferro consumato nelle acciaierie italiane | |
|--|------------------|
| Origine | Quota (%) |
| Italia | 65 |
| Francia | 5 |
| Germania | 11 |
| Altri Europa | 6 |
| Paese extra-U.E. | 13 |
| Totale | 100 |

Tab. 3 – Fonte: Federacciai in riferimento all'anno 2014 [6]

La trasformazione da autodemolizione in “centro” di economia circolare risulta decisiva anche per i processi innovativi del sistema-Paese: secondo il report “L'Italia del riciclo 2019 – Decima edizione” della Fondazione per lo sviluppo sostenibile e FISE [7] il settore necessita di urgenti interventi normativi capaci di contrastare l'emorragia di veicoli all'estero; contrastare la diffusione di pratiche scorrette e illegali; monitorare e regolamentare la vendita on line di parti di ricambio; garantire una stretta tracciabilità dei rifiuti derivanti dal trattamento dei veicoli stessi; premiare gli impianti performanti sia ambientalmente sia in termini di obiettivi per incentivare la qualificazione della filiera.

2.1 Metodo

Il metodo utilizzato nel presente documento è stato l'analisi dei dati prodotti dal Sistema di Gestione Integrata realizzato con il gestionale GE.A. (GEstione servizi ambientali e Autodemolizione) tramite piattaforma-web Caronte24.com e da Pomili Demolizioni Speciali Srl, Centro di Raccolta Autorizzato in Area Metropolitana di Roma Capitale e impianto con certificazione di Sistema di Gestione secondo i criteri internazionali riconosciuti di qualità, ambiente e sicurezza sul lavoro (EN UNI ISO 9001:2015 14001:2015 e 45001:2018) ed etica e responsabilità sociale (SA 8000:2014).

Il periodo di tempo è compreso tra il 23 ottobre 2019 e il 31 dicembre 2021 e l'ambito spaziale, in riferimento al recupero di VFU abbandonati è il territorio del Comune di Roma Capitale, Italia, paese dell'Unione Europea.

La responsabilità direttamente operativa della gestione del fine vita dei VFU “presunti abban-

donati”, in accordo con la normativa e le procedure del Decreto Ministeriale 469 del 1999 [7], si concretizza quindi con le operazioni di ritiro *in loco* e di gestione all’interno di un impianto di trattamento di VFU, noto come Autodemolizione.

La progettazione di suddetti opifici deve essere basata su un approccio industriale tale da garantire un processo a “catena di de-montaggio” [Fig. 1], dalla fase di accettazione del bene veicolo che diventa rifiuto fino alla valorizzazione dei rifiuti costituenti i veicoli che diventano risorse cioè materie prime seconde per nuovi processi produttivi.



Fig. 1 – “Catena di de-montaggio”[1]

Il presente Sistema di Gestione Integrata quindi è stato finalizzato all’introduzione nella logistica aziendale di un applicativo gestionale digitale *on cloud* e da un’APP mobile destinata agli operatori della catena logistica.

Le finalità hanno compreso:

- un’ottimizzazione della programmazione e un aggiornamento in *real-time* rispetto variazioni della stessa, ogni processo consente di estrarre report per consentire l’archiviazione compatibile con i sistemi e processi in essere;
- la digitalizzazione del processo di richiesta di ritiro di VFU “presunti abbandonati”;
- la realizzazione di un servizio di recupero/ritiro/rottamazione/radiazione di veicoli sul luogo e “da remoto”;
- l’automazione e la tracciabilità delle operazioni per una corretta gestione di VFU abbandonati e archiviazione documentale.

2.2 Risultati e discussione

- Il presente Sistema di Gestione Integrata, costituito da impianto industriale con Sistema di Gestione integrato con applicativo gestionale GE.A.-Caronte24.com, ha permesso la tracciabilità e la sicurezza del procedimento amministrativo e il corretto trattamento di n° 4.050 veicoli abbandonati (tra autovetture, autocarri, furgoni, motocicli, velocipedi), corrispondenti al 100% delle richieste di recupero e ritiro, con una media di circa 1.280 VFU per anno.
- I risultati rilevati sono stati:
 - un’ottimizzazione della programmazione e un aggiornamento in *real-time* rispetto variazioni della stessa, ogni processo consente di estrarre report per consentire l’archiviazione compatibile con i sistemi e processi in essere;
 - un’allocazione sub-ottimale dei carichi, e dall’altra un’ottimizzazione dei tempi da parte degli operatori;
 - un completo sistema di informazioni e notifiche contestuali all’operatività, che consente agli operatori di essere informati e allertati riguardo a DPI (Dispositivi di Protezione Individuale) e buone pratiche sulla sicurezza sul lavoro nello svolgimento dei propri incarichi.
 - Il gestionale ha avuto lo scopo di permettere il passaggio a un flusso completamente digitale, in modo da ridurre in modo drastico potenziali errori materiali, tempi e abbattere i costi occulti dovuti a mancanza di sincronia, aumentando quindi efficienza e garantendo affidabilità e tracciabilità.
 - L’utilizzo del gestionale e piattaforma web GE.A.-Caronte24.com ha consentito di risolvere dispersioni e parcellizzazione della tracciabilità causati da flussi pseudo-manuali e asincroni,

permettendo di unificare tutto il *workflow* all'interno di un singolo processo dove ogni singolo step viene automaticamente tracciato.

- La valutazione immediata della capacità di deposito e trattamento assicura la possibilità di determinare analiticamente i quantitativi di VFU, rifiuti prodotti e stima della materia recuperata. Il dato di produzione consente di studiare e progettare le dimensioni più adatte delle aree atte al contenimento degli stessi, cioè si possono determinare le metrature delle diverse zone di stoccaggio secondo le “Linee guida sul trattamento dei veicoli fuori uso. Aspetti tecnologici e gestionali” redatte da ISPRA [8]. Individuate le aree di stoccaggio è possibile stabilire i quantitativi di rifiuti speciali pericolosi e non che è possibile stoccare istantaneamente, nel rispetto dei criteri di sicurezza e di impatto ambientale, e nel corso di un determinato intervallo temporale, come ad esempio un anno solare.
- In vista dei prossimi appuntamenti previsti:
- 2035, Piano europeo “Fit for 55” e divieto per le Case automobilistiche di produrre e vendere auto a benzina o diesel a partire dal 2035;
- 2040, Risoluzione del Senato per l’eliminazione in Italia delle auto a combustione interna, anche grazie a una soluzione tecnologica come i veicoli elettrici e ibridi;
- l’implementazione e attuazione di procedure digitali di comunicazione e tracciamento del ritiro dei VFU abbandonati al fine del loro reinserimento nel ciclo del recupero e riciclo di materia risulta decisiva anche per i processi innovativi del sistema-Paese e per una completa transizione ecologica.

3. Conclusioni

Ottimizzare il recupero di materia e industrializzare il processo di ritiro dei veicoli “presunti abbandonati” e il trattamento dei VFU è già realizzabile. Innovare e perfezionare il processo di recupero dei VFU abbandonati è dunque auspicabile ed è possibile attraverso:

- una piattaforma di comunicazione per partnership pubblico-privato, tra forze di polizia e Amministrazioni Locali e Centri di Raccolta Autorizzati, secondo gli aggiornamenti normativi e procedure per il rinvenimento di veicoli presunti abbandonati, così come previsto dal DM 469/99;
- un’ottimizzazione dei processi lavorativi interni di un impianto, tali da garantire la totale tracciabilità del veicolo, oggetto del recupero e del trattamento, dalla fase di accettazione, deposito temporaneo, fino al completo avvio a recupero-smaltimento di tutte sue parti;
- un aggiornamento normativo per procedure certe e rapide e la certificazione del trattamento da potersi declinare secondo termini di qualità, ambiente, sicurezza sul lavoro, etica e responsabilità sociale.
- L’utilizzo di un Sistema di Gestione Integrata che ha implementato e si compone di un applicativo gestionale per l’automazione e la tracciabilità delle operazioni con procedure certe e certificate secondo gli standard internazionali di Sistema di Gestione inerente l’impianto Centro di Raccolta Autorizzato ha permesso il passaggio da autodemolizione a centro di servizi di economia circolare grazie al corretto trattamento e la risoluzione efficace della problematica dei VFU abbandonati, per il recupero ottimale di materia, rendendo al contempo più vivibili i nostri territori e le nostre città, liberandoli da carcasse bruciate, veicoli vandalizzati e rottami vari, che deturpano luoghi e territori.

Bibliografia

[1] **MATREC**, *Material Recycling*, giugno 2003, Italia

[2] **Commissione europea**, “Pronti per il 55 %”: realizzare l’obiettivo climatico dell’UE per il 2030 lungo il cammino verso la neutralità climatica, 2021, Belgio (UE) | *The European Commission*, “Fit for 55”: delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality, 2021, Belgium (EU)

[3] **Senato XVII Legislatura**, *Risoluzione approvata dalle Commissioni riunite sull’affare assegnato n. 1015 (Doc. XXIV, n. 81)*, 2017, Italia

- [4] **Pomili L., Fabrizi A.**, (*EEMJ* 2020) – Environmental Engineering and Management Journal, Vol. 19, No. 10 - *Automotive recycling: a circular economy centre, ottobre 2020, Romania*
- [5] **Assolombarda - Centro Studi**, *Alert del 17 marzo 2022, Italia*
- [6] **Fondazione per lo sviluppo sostenibile e AIRA**, *I veicoli a fine vita e recupero del car fluff, novembre 2017, Italia*
- [7] **Fondazione per lo sviluppo sostenibile e FISE UNICIRCULAR**, *L'Italia del riciclo 2019, Decima edizione, 2019, Italia*
- [8] **Gazzetta Ufficiale**, n.287 del 7-12-1999 - *Ministero dell'Interno, Decreto 22 ottobre 1999, n.460*
- [9] **ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale** (ex-APAT – Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), *“Linee guida sul trattamento dei veicoli fuori uso. Aspetti tecnologici e gestionali”*, 2005, Italia

Life cycle assessment of a decentralised approach to dairy by-product valorisation: opportunities for sustainable intensification and circularity

Eric Mehner e.mehner@unibs.it, Mentore Vaccari

University of Brescia, Brescia

Daniele Pizzichini, Valentina Fantin

Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Casaccia and Bologna

Summary

The sustainability and circularity of whey valorisation scenarios within the cheese production chain were investigated in an innovative and holistic Life Cycle Assessment approach. The entire production chain was studied to avoid burden shifts and process-limited improvements. Suitable functional units were identified, and economic, technical, and environmental aspects of production were accounted for. Employing data collected from companies as well as laboratory- and pilot-scale experiments, several real-life scenarios were compared to a modelled scenario designed for high circularity. The results evidence significant benefits of by-product valorisation and sustainable intensification for the dairy sector. Meanwhile, the difficulty of identifying ideal solutions is demonstrated when comparing the sustainably and circularly preferred scenarios.

Riassunto

La sostenibilità e la circolarità degli scenari di valorizzazione del siero di latte nel quadro della catena di produzione casearia sono state analizzate con un approccio innovativo e olistico di tipo LCA. È stata studiata l'intera catena di produzione per evitare spostamenti di oneri e miglioramenti limitati ad un singolo processo. Sono state individuate unità funzionali adeguate prendendo in considerazione aspetti economici, tecnici e ambientali della produzione. Utilizzando i dati raccolti da aziende ed esperimenti di laboratorio sono stati confrontati diversi scenari reali con uno scenario modellato per un'elevata circolarità. I risultati mostrano benefici significativi per il settore lattiero-caseario grazie alla valorizzazione dei sottoprodotti e intensificazione sostenibile. Nel frattempo, le difficoltà nell'identificare soluzioni ideali è dimostrata dal confronto tra il miglior scenario sostenibile e quello circolare.

1. Introduction

Circular Economy (CE) is a widely agreed upon goal to be reached in order to increase the sustainability of production [1]. At the same time, sustainability and circularity are not interchangeable concepts and a circular process is not necessarily sustainable and vice versa [2]. Therefore, both concepts should be considered when designing and assessing for new and innovative processes. CE assessments usually focus on material and energy recirculation

and many approaches exist [3,4]. However, agriculture and the agri-food industry pose a particular issue in this context, since material and energy circulation are often difficult if not impossible since products are consumed, for which reason other approaches become more relevant. This includes resource efficiency, waste minimisation and by-product valorisation. One approach that satisfies all three of these examples is identifying low resource by-product valorisation approaches. In other words, processes that improve the input-to-output ratio by using few resources to create a larger value. That way, a sustainable intensification can be reached.

The valorisation of whey from cheese production is one such process and of particular interest due to the severe environmental impacts of animal husbandry and the dairy industry [5]. Since most of the environmental impact of producing cheese is occurring during the farming steps [6], and whey is a substance rich in valuable chemicals such as proteins, a valorisation step could create considerable amounts of high-value products while using few resources as compared to the rest of the production chain.

One common procedure to assess the environmental impact of a given process is the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. In the method, process inventory data is used to calculate the potential environmental impacts of a process related to a chosen functional unit that represents the process quantitatively and logically.

In the present study, the effect of whey valorisation on the impacts of the dairy production chain is assessed. Four scenarios are included of which three represent real-life scenarios, while the fourth scenario models a decentralised valorisation approach designed for representing a high degree of circularity.

Hence, the contribution provides an innovative assessment approach to the impacts of by-product valorisation, combining a holistic perspective with a detailed environmental and economic investigation as well as an evaluation of the circularity of the proposed cases.

2. Methods

2.1 Goal and Scope

The present study has the goal of assessing the potential environmental impacts of valorising whole whey from cheese production in four different scenarios in a holistic production chain perspective.

It follows the ISO standards for Life Cycle Assessment 14040 and 14044 [7,8] and the PE-FCR (Product Environmental Footprint Category Rules) for dairy products [9] are applied when possible. The software SimaPro version 9.3 was used to calculate the impacts and the ReCiPe 2016 midpoint (H) v1.06 model was applied. Background data was obtained from the Ecoinvent database v3.8. The study was commissioned by ENEA, Regione Lombardia and the University of Brescia and aims at an audience of researchers, stakeholders and policy makers. An attributional assessment approach was chosen.

Eighteen impact categories were considered in the assessment, since the dairy production chain consists of a wide range of activities, which are expected to lead to a large number of different potential environmental impacts.

In order to be able to include the entire production chain into the assessment, a functional unit (f.u.) had to be selected that could represent the main products and all potential by-products. Since these products are not necessarily functionally identical, three functional units were identified that could, in combination, logically represent all products as precisely as possible. The three units are the kg of dry matter (DM) content, the kg of protein content and the created value (within the value chain) in €. This way, the products' weight and function as human nutrition as well as the quality of said nutrition are accounted for, while also con-

sidering the difference in product quality achieved. This may be particularly important for high-quality products such as whey protein isolates which can become as much as ten times more expensive than the main product cheese.

The boundaries of the study include all activities from the delivery of the milk at the cheese producer to the delivery of the products. Transportation is included in both cases and within the boundaries. Background data is used for all materials obtained from outside the boundaries, including the production of milk. The background data on milk production was compared to results from recent literature for the Italian context and deemed suitable.

Since the entire value chain is included in the assessment, no allocations were necessary for the by-product valorisation and the separation of proteins and lactose. Background data was selected to match the Italian context whenever possible, otherwise European market data was applied. Milk was handled as fat- and protein-corrected milk (FPCM) according to the IDF manual [10].

2.2 *Inventory*

Primary data was collected in a case study of a small-sized cheese producer (3000 t/a milk) in the province of Brescia, Lombardy. Five years of production (2016-2020) were considered for the main material and energy flows and three years (2018-2020) for all minor flows. Further primary data was collected in laboratory experiments for whey fractionation and drying at small scale (2 l/batch) and pilot scale (250 l/batch). Additional information was acquired from interviews with industrial stakeholders to verify the laboratory data. Any missing data was estimated based on educated assumptions. The monetary value of the value chain was based on current market prices of all the products.

2.3 *Valorisation scenarios*

Only scenarios valorising whey for human consumption or at equal value were considered, while low-quality valorisation approaches were considered negligible and summarised under the no valorisation scenario.

The modelled scenario describes a decentralised valorisation approach that has the aim of high circularity and resource efficiency. Additionally, considerations on valorisation at source, shortened transportation and regional development were included in the design. The whey fractionation steps are designated to be taking place close to or at the cheese producer in small- to medium-scale plants. Drying takes place in more centralised plants since larger volumes are needed for an economically feasible operation. The final products are then delivered to local companies. Two main products are produced, a 80% whey protein powder and lactose.

The no valorisation scenario represents cases in which whey is not valorised for human consumption or equally high-quality products and hence all impacts are allocated to the main product. The by-product cream is still considered for the DM content since it is mostly valorised for human consumption (butter).

The whey powder scenario assumes a centralised plant for drying the whey in two steps. The first step of vacuum drying reduces the water content while the second step of spray drying produces the powder. The whey powder is sold for human consumption.

The centralised fractionation scenario also assumes a centralised valorisation plant where the whey is fractionated in a protein-rich fraction and a lactose-rich fraction. Two products are produced from the protein-rich fraction, 60% whey protein powder and 80% whey protein powder.

2.4 Uncertainty analysis

The uncertainty was calculated via a Monte Carlo uncertainty analysis of 1000 runs. Average data of five production years (2016-2020) for major material and energy flows and three production years (2018-2020) for minor material and energy flows was used for the cheese production. Laboratory data uncertainty was used for the experimental data. The uncertainty of milk production and other input materials was not considered.

3. Results

The results of the assessment are presented in Table 1 for the base scenario of no valorisation. The impact values are related to the functional unit of products leaving the dairy value chain including all main and by-products according to the scenario. For all resulting impact values, the calculated uncertainty was between 4 - 7% in all scenarios.

| Impact category | Unit | per kg proteins | per kg DM | per € value chain |
|---|---------------|-----------------|-----------|-------------------|
| Fine particulate matter formation | kg PM2.5 eq | 0,0943 | 0,0325 | 0,00386 |
| Fossil resource scarcity | kg oil eq | 6,04 | 2,08 | 0,247 |
| Freshwater ecotoxicity | kg 1,4-DCB eq | 1,57 | 0,540 | 0,0641 |
| Freshwater eutrophication | kg P eq | 0,0177 | 0,00609 | 0,000724 |
| Global warming | kg CO2 eq | 67,2 | 23,1 | 2,75 |
| Human carcinogenic toxicity | kg 1,4-DCB eq | 1,90 | 0,653 | 0,0775 |
| Human non-carcinogenic toxicity | kg 1,4-DCB eq | 23,3 | 8,03 | 0,953 |
| Ionizing radiation | kBq Co-60 eq | 1,17 | 0,404 | 0,0480 |
| Land use | m2a crop eq | 311 | 107 | 12,7 |
| Marine ecotoxicity | kg 1,4-DCB eq | 1,95 | 0,673 | 0,0799 |
| Marine eutrophication | kg N eq | 0,0666 | 0,0229 | 0,00272 |
| Mineral resource scarcity | kg Cu eq | 0,138 | 0,0474 | 0,00563 |
| Ozone formation, human health | kg NOx eq | 0,112 | 0,0385 | 0,00457 |
| Ozone formation, terrestrial ecosystems | kg NOx eq | 0,114 | 0,0394 | 0,00467 |
| Stratospheric ozone depletion | kg CFC11 eq | 0,000383 | 0,000132 | 1,57E-05 |
| Terrestrial acidification | kg SO2 eq | 0,442 | 0,152 | 0,0181 |
| Terrestrial ecotoxicity | kg 1,4-DCB eq | 129 | 44,6 | 5,29 |
| Water consumption | m3 | 1,58 | 0,543 | 0,0645 |

Tab. 1 – Calculated impacts for the no valorisation scenario in relation to the three functional units.

The results for the alternative scenarios are presented in the following Figure 1. The no valorisation scenario was used to normalise all results in order to visualise the relative differences achieved in each of the four scenarios.

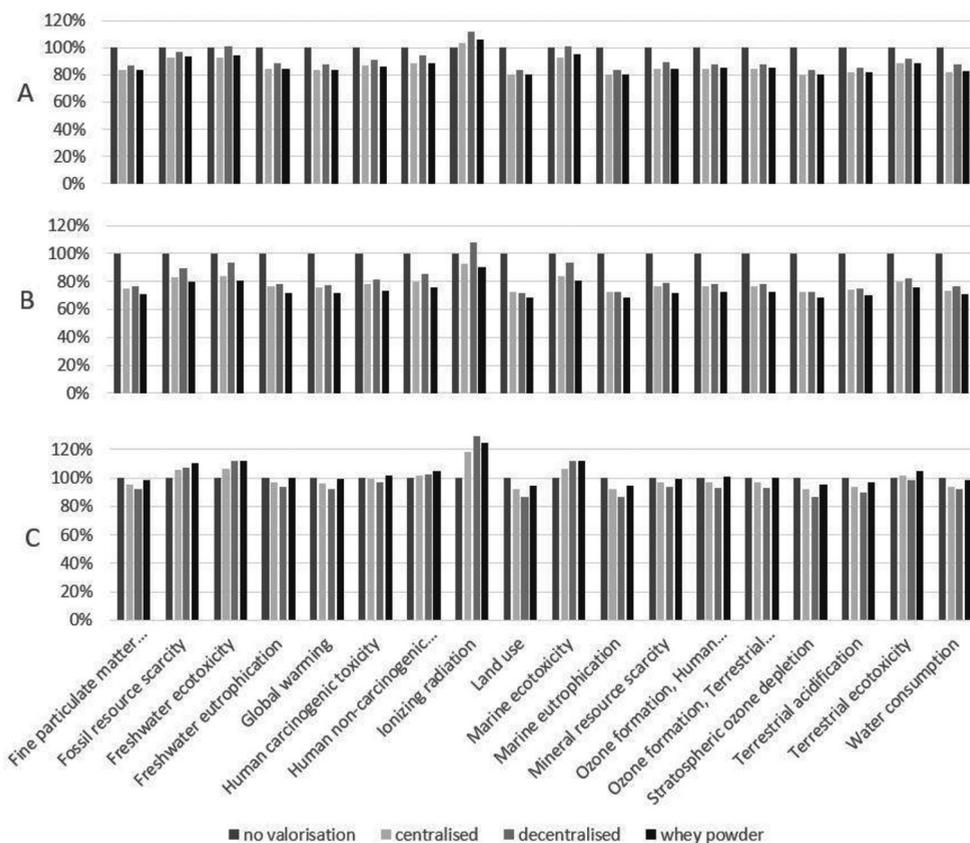


Fig. 1 – Comparison of the four scenarios and their relative impacts for all categories. The three functional units are shown in A [kg of protein], B [kg of DM] and C [€ value chain].

Applying comparative Monte Carlo uncertainty analyses between the no valorisation and the different valorisation scenarios showed that the reduction in impacts per kg protein and per kg DM is significant ($\alpha = 0.01$) for all categories besides ionizing radiation and freshwater ecotoxicity, which did not show a reduction in each of the scenarios.

Weighting the categories according to the applied method revealed that the five most relevant impact categories were land use, freshwater eutrophication, marine eutrophication, terrestrial acidification and global warming. The toxicity categories showed even higher importance, however detailed analysis revealed that they were mostly dependent on a single substance (chromium VI) released during the milk production, which was not part of the boundaries. For this reason, they were not considered in the weighting.

4. Discussion

The results of the LCA showed a clear and significant benefit of by-product valorisation from a value chain perspective. Since the amount of gained products outweighed the invested resources leading to a relatively lower impact, one can describe the valorisation step as a form of sustainable intensification. The only exception from the improvement are impact categories that are strongly related to energy use such as ionizing radiation. This was in particular the case for the f.u. of € value chain and least relevant for the f.u. kg of DM. However, when

weighting the different categories against each other, ionizing radiation and fossil resource scarcity showed to be of lower importance. The toxicity categories are difficult to compare since they almost entirely depended on a single substance released in a process that was not part of the primary data and boundaries.

Even though the impacts of farming activities in the milk production are known to depend largely on the particular circumstances of production and a high fluctuation can be observed between case studies [11], this would not change the present findings, since the milk production is not affected by by-product valorisation. So, even if the impacts of the milk input change, the effect of by-product valorisation would remain as it simply distributes the impacts between more products.

The whey powder and centralised scenario performed best for the f.u. kg of protein and kg of DM. This is mainly due to the fact that large scale operations tend to be more efficient, hence less energy needs to be used while simultaneously gaining higher yields. Moreover, the additional transportation required did not increase the impacts enough to outweigh the benefits of efficiency.

On the contrary, when using the € created in the value chain as a f.u., the decentralised scenario performed notably better. This was due to the fact that in the model it was assumed that all proteins were transformed into the highest quality product (80% protein content) since the smaller production volumes and tight collaboration within a CE would allow for more specialised and higher quality products. Meanwhile, centralised plants are more dependent on the open market and rather produce large charges of general products.

In other words, it could be concluded that when focusing on sustainability and low impacts only, the centralised scenarios perform best, while when focusing on circularity (the highest level of valorisation and resource efficiency), the decentralised model is preferable. Additionally, there are other benefits expected from the decentralised model that are not easily quantified, such as the increased local value creation, stakeholder collaborations and the establishment of new value chain networks, which could even lead to the formation of Industrial Symbioses. Clearly, the results and their interpretation are heavily dependent on the choice of the f.u. and the intentions of the study commissioner.

One aspect that is not discussed in detail here but should be noted is the issue of price fluctuations. Especially energy prices can change dramatically as we have seen in 2021/2022 which could make energy-intense valorisation approaches unfeasible in a short manner of time and could therefore have immense influence on the implementation of such strategies.

5. Conclusion

It was shown that high quality by-product valorisation of whey, the largest side stream of the dairy industry, is beneficial in terms of environmental impacts when taking a holistic value chain perspective. A form of sustainable intensification can be reached since the use of comparably few resource leads to a significant increase in new products available. A model of a circular and decentralised valorisation approach based on resource efficiency and waste minimisation was tested against real-life scenarios. In the case of two out of three f.u. the centralised scenarios outperformed the decentralised one in terms of environmental impact while the third f.u. led to mixed results slightly favouring the decentralised approach. Hence, the interpretation of the results is depending strongly on the priorities and goals of the study commissioner and the preferred option in terms of sustainability (low impact) and circularity is not necessarily the same.

This question of priority can be particularly precarious when the most circular scenario performs significantly worse than the alternative scenarios in which case it becomes even more important to account for positive effects not quantified in the present study such as the sup-

port of the local economy. In general, the interpretation of results can lay focus on the environmental, economic and/or social dimension, since all three are directly affected by CE practices.

Overall, more research is needed within the dairy value chain but also in other agri-food sectors in order to better understand the effects and benefits of by-product valorisation for the sustainability and circularity of production.

Bibliography

- [1] **European Commission** (2020) A new Circular Economy Action Plan, COM(2020) 98, Brussels.
- [2] **Harris S., Martín M., Diener D.**, (2021) Circularity for circularity's sake? Scoping review of assessment methods for environmental performance in the circular economy, *Sustainable Production and Consumption*, 26, 172-186.
- [3] **Corona B., Shen L., Reike D., Rosales Carreón J., Worrell E.**, (2019) Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics, *Resources, Conservation & Recycling*, 151, 104498.
- [4] **Saidani M., Yannou B., Leroy Y., Cluzel F., Kendall A.**, (2019) A taxonomy of circular economy indicators, *Journal of Cleaner Production*, 207, 542-559.
- [5] **European Commission** (2020) EU agricultural outlook for markets, income and environment, 2020-2030., *DG Agriculture and Rural Development*, Brussels.
- [6] **Cecchini L., Torquati B., Paffarini C., Barbanera M., Foschini D., Chiorri M.**, (2016) The Milk Supply Chain in Italy's Umbria Region: Environmental and Economic Sustainability, *Sustainability*, 8, 728.
- [7] **ISO**, (2006). Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. EN ISO 14040:2006. *International Organization for Standardization*, Geneva, Switzerland.
- [8] **ISO**, (2006). Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. EN ISO 14044:2006. *International Organization for Standardization*, Geneva, Switzerland.
- [9] **European Dairy Association**, (2018) Product Environmental Footprint Category Rules for Dairy Products, *The European Dairy Association*, Brussels.
- [10] **International Dairy Federation**, (2015) A common carbon footprint approach for the dairy sector, *Bulletin of the International Dairy Federation*, 479/2015, Brussels.
- [11] **Lovarelli D., Bava L., Zucali M., D'Imporzano G., Adani F., Tamburini A., Sandrucci A.**, (2019) Improvements to dairy farms for environmental sustainability in Grana Padano and Parmigiano Reggiano production systems, *Italian Journal of Animal Science*, 18(1), 1035-1048.

Materiale di Riporto e consumo di suolo: criticità della normativa italiana

Eugenio Capponi Eugenio.Capponi@hpc.ag, HPC Italia S.r.l., Milano

Riassunto

Tra i problemi di maggiore criticità ambientale vi sono l'erosione degli habitat e il consumo di aree naturali, che comportano gravi conseguenze in termini di estinzioni di specie, surriscaldamento globale e inondazioni.

La presenza di requisiti estremamente stringenti per il recupero di aree dismesse implica il conseguente consumo di aree verdi e campi agricoli per lo sviluppo di siti commerciali, industriali, residenziali e le reti di infrastrutture associate.

In questo articolo verrà esaminata la normativa in materia di gestione del Materiale di Riporto e verrà messa in relazione alle problematiche di perdita di suolo ed ecosistemi, che minacciano il futuro dell'ambiente e del genere umano.

Summary

The current erosion of habitats and the consumption of natural areas have severe consequences in terms of species extinctions, global warming and flooding.

Extremely strict requirements for brownfield redevelopment in Italy results into the consequent consumption of green areas and agricultural fields for the development of commercial, industrial and residential sites and related infrastructures.

This article focuses on the regulation of backfill material management, in relation to soil and ecosystems loss issues, which threaten the future of the environment and mankind.

1. Introduzione

La comunità umana necessita di spazio per vivere, coltivare, allevare e spostarsi, e nell'ultimo secolo ha sperimentato una crescita senza precedenti. Attualmente si stima la presenza di una popolazione di 8 miliardi, contro i circa 4 miliardi di cinquant'anni fa e continuerà ad aumentare raggiungendo quasi 10 miliardi nel 2050[1].

Tale crescita ha provocato grandi cambiamenti nelle condizioni del suolo; cambiamenti irreversibili se messi in relazione alla durata media di una vita umana, dato che per rigenerare 1 cm di suolo sarebbero necessari dai 100 ai 1.000 anni. Il depauperamento di suolo rappresenta una problematica di dimensioni ineguagliabili, che implica, tra le altre cose, perdita di habitat con conseguenti estinzioni di specie animali e vegetali, una diminuzione della produzione di cibo, cambiamenti climatici, eventi meteorologici catastrofici. In Italia, nel 2020, sono stati persi 2 m² di suolo al secondo, sostituiti da un totale di 56,7 km² di nuove coperture artificiali quali nuovi edifici, infrastrutture, insediamenti commerciali, logistici, produttivi e di servizio[2]. Questo processo è correlato dall'imposizione di requisiti normativi estremamente stringenti per il risviluppo di siti dismessi, che comportano procedure amministrative e investigative non compatibili con le esigenze di mercato. L'impossibilità di controllo delle tempistiche e i costi associati alla gestione di aree antropizzate obbliga il settore privato a preferire ai siti dismessi le aree verdi, ancora vergini, dove risulta più rapido e agevole costruire.

Nella difficoltà di risviluppare i siti dismessi, le aree naturali e i campi agricoli vengono quindi sostituiti da nuove costruzioni; tali cambiamenti non si limitano alla superficie dei soli edifici da costruire, ma a tutte le infrastrutture ad essi associate, quali strade, parcheggi, utilities, etc. Tutto ciò, mentre le strutture e le aree precedentemente antropizzate e abbandonate vengono lasciate nel degrado.

2. Relazione

2.1 Inquadramento normativo

2.1.1 Definizione e caratterizzazione del MdR

Per fornire il quadro di normativo di riferimento, bisogna partire dalla definizione di “Materiale di Riporto” (MdR), termine con cui nell’ambito ambientale ci si riferisce a una porzione di suolo nella quale sia stata riscontrata la presenza di materiali di origine antropica, quali cemento o laterizi, ferro, vetro, plastica, ecc.[3] In base a tale definizione, tutti i siti antropizzati sono caratterizzati dalla presenza di MdR, nelle città di Roma e Milano è possibile trovare uno strato di MdR che arriva a 7 e 10 metri[4].

Il Decreto Legge 2/2012, oltre a introdurre la definizione appena vista, ha equiparato il MdR al suolo naturale, con la conseguente necessità di verifica della conformità alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (“CSC”), previste per la destinazione d’uso del sito[5].

Con il Decreto Legge 69/2013 è stata successivamente introdotta un’ulteriore verifica da condurre sul MdR: il Test di Cessione, che consiste in una prova simulata di rilascio (cessione) di contaminanti effettuata ponendo in contatto per un tempo definito il MdR con acqua demineralizzata[6]. Il liquido prodotto all’esito del test viene poi caratterizzato dal punto di vista chimico e fisico per verificare la conformità rispetto ai limiti di riferimento.

Tale adempimento aggiuntivo comporta che sia sufficiente una percentuale, anche esigua, di frammenti di cemento o laterizi per classificare un terreno quale MdR e quindi assoggettarlo a requisiti di qualità che, come vedremo, sono estremamente stringenti.

Si segnala che il Test di Cessione prevede delle attività di macinazione del campione, risultando pertanto peggiorativo rispetto alle reali condizioni ambientali. Non è inoltre possibile, attraverso il Test di Cessione, definire l’effettivo contributo associato ai materiali antropici presenti nel MdR; il Test di Cessione eseguito su terreni naturali, privi di materiale antropico, rileva spesso concentrazioni elevate per alcuni parametri naturalmente presenti nei suoli, quali Fluoruri, Solfati e metalli.

2.1.2 Limiti di riferimento del MdR

Inizialmente i limiti di riferimento, in conformità con la Nota tecnica MATTM 13338 del 14 maggio 2014 del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, facevano riferimento alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione previste per le acque sotterranee[7]. Successivamente, il Decreto Legge 77/2021, ha definito come limiti di riferimento per il MdR i valori riportati nel Decreto del Ministro dell’Ambiente del 5 febbraio 1998, Allegato 3, “Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero”. Rispetto ai limiti indicati nella precedente Nota tecnica MATTM, i nuovi valori risultano meno stringenti per gli elementi Arsenico, Berillio, Cobalto e Piombo e più stringenti per Nichel e Rame, ma rimangono estremamente penalizzanti, e in alcuni casi inferiori rispetto ai limiti per la potabilità o per le acque in bottiglia.

Si veda, a questo proposito, la Tabella 1, che mette a confronto i limiti previsti per il Test di Cessione del MdR con quelli previsti per le acque e per i Test di Cessione del Materiale di Recupero e per l’ammissibilità in discarica dei rifiuti inerti e non pericolosi[8].

| Parametro | Unità di misura | MdR | Acque | | | Materiale di Recupero | Rifiuti | |
|--------------|-----------------|----------|-------|----------|--------------|-----------------------|---------|----------------|
| | | | Falda | Potabile | In bottiglia | | Inerti | Non Pericolosi |
| Cianuri | mg/l | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,01 | 0,05 | - | - |
| Cloruri | mg/l | 100 | - | 250 | - | 750 | 80 | 2.500 |
| Fluoruri | mg/l | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 5 | 1,5 | 1 | 15 |
| Nitrati | mg/l | 50 | - | 50 | 45 | 50 | - | - |
| Solfati | mg/l | 250 | 250 | 250 | - | 750 | 100 | 5.000 |
| Arsenico | µg/l | 50 | 10 | 10 | 10 | 50 | 50 | 200 |
| Bario | µg/l | 1.000 | - | 700* | 1.000 | 1.000 | 2.000 | 10.000 |
| Berillio | µg/l | 10 | 4 | 12* | - | 10 | - | - |
| Cadmio | µg/l | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 | 4 | 100 |
| Cobalto | µg/l | 250 | 50 | - | - | 250 | - | - |
| Cromo Totale | µg/l | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 1.000 |
| Mercurio | µg/l | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 20 |
| Nichel | µg/l | 10 | 20 | 20 | 20 | 10 | 40 | 1.000 |
| Piombo | µg/l | 50 | 10 | 10 | 10 | 50 | 50 | 1.000 |
| Rame | µg/l | 50 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 50 | 200 | 5.000 |
| Selenio | µg/l | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 50 |
| Vanadio | µg/l | 250 | - | 50 | - | 250 | - | - |
| Zinco | µg/l | 3.000 | 3.000 | 3.000* | - | 3.000 | 400 | 5.000 |
| Amianto | mg/l | 30 | - | - | - | 30 | - | - |
| COD | mg/l | 30 | - | - | - | 30 | - | - |
| pH | - | 5,5–12,0 | - | 6,5–9,5 | - | 5,5–12,0 | - | - |

Legenda:

| | |
|---|--|
| | Valore meno stringente rispetto a quello indicato per i MdR |
| | Valore uguale rispetto a quello indicato per i MdR |
| - | Parametro non normato |
| * | Parametro definito da “Guidelines for Drinking-water Quality” - World Health Organization (2021) |

Tab. 1 – Confronto tra i limiti normativi previsti per il Test di Cessione del MdR, acque e rifiuti

Da un’analisi della normativa applicabile alla caratterizzazione del MdR e relativi limiti di riferimento, possiamo trarre alcune prime interessanti conclusioni:

- Nel protocollo analitico previsto per il Test di Cessione per la caratterizzazione del MdR, non sono inclusi parametri di rilevanza ambientale quali Idrocarburi e Cromo esavalente;
- Per alcuni parametri i valori limite siano più stringenti per i MdR rispetto a quelli per le acque destinate al consumo umano;
- I valori limite previsti per l’aggregato recuperato dei Materiali di Recupero (definizione con cui si fa riferimento ai rifiuti dalle attività di costruzione e demolizione e ad altri rifiuti inerti di origine minerale, in seguito a operazioni di recupero) risultano essere meno stringenti rispetto a quelli previsti per i MdR riguardo i parametri Cloruri e Solfati[9];
- Relativamente ai limiti previsti per l’ammissibilità in discarica per i rifiuti Inerti e Non

Pericolosi, si rilevano concentrazioni significativamente più elevate, e per alcuni parametri, superiori a un ordine di grandezza.

2.1.3 *Gestione del MdR non conforme*

Sebbene la normativa tenti di dare ordine e organicità a una materia molto complessa e frammentata, le criticità permangono, specialmente in tema di ripartizione delle competenze tra amministrazione centrali e regionali con riferimento alla gestione burocratica del MdR non conforme.

Precedentemente al 2021, il MdR non conforme era classificato come rifiuto, da gestire tramite tre alternative possibili:

- Rimozione attraverso scavo e smaltimento
- Trattamento per la rimozione dei contaminanti
- Impermeabilizzazione delle superfici per impedire la lisciviazione dei contaminanti verso la falda acquifera

Con l'entrata in vigore del Decreto Legge 77/2021[10], il MdR non conforme deve essere gestito nell'ambito dei procedimenti di bonifica, al pari dei suoli; il Decreto ha introdotto la possibilità di gestire il MdR non conforme anche mediante Analisi di Rischio che consente di definire, mediante modelli di calcolo riconosciuti a livello internazionale, se i superamenti dei limiti rilevati comportano un effettivo rischio per l'ambiente e la popolazione.

Nonostante i vantaggi derivanti dall'introduzione di una procedura che consenta la valutazione dell'effettiva pericolosità del MdR, bisogna sottolineare che il processo di elaborazione e approvazione della Analisi di Rischio prevede tempistiche generalmente comprese tra 4 e 24 mesi. Le Autorità, infatti, possono richiedere indagini integrative atte a escludere il potenziale impatto sulla matrice acque di falda, con la conseguente necessità di installazione di piezometri ed eventuali monitoraggi stagionali della falda.

La presenza di anche un solo superamento degli stringenti limiti di riferimento comporta l'obbligo di notifica e l'avvio di una procedura ambientale[11], che prevede la delimitazione del MdR non conforme. Purtroppo, diversamente da quanto previsto per la delimitazione di volumi di terreno associati a una specifica fonte di contaminazione, la delimitazione di MdR non conforme risulta spesso impossibile, poiché l'eterogeneità del MdR comporta spesso la classificazione dell'intero orizzonte quale non conforme.

2.1.4 *Riutilizzo del MdR*

Nel caso di intenzione di riutilizzo del MdR presso siti esterni, la normativa prevede un ulteriore requisito qualitativo: qualora le Terre e Rocce da Scavo contengano MdR, questi non devono essere presenti in quantità superiore al 20% del peso totale[12]. Nel caso la percentuale di materiale di origine antropica risulti superiore, il MdR, anche se conforme ai limiti di qualità, non può essere classificato come sottoprodotto e riutilizzato in siti esterni, e dovrà essere gestito come rifiuto.

Tale requisito comporta quindi un'ulteriore criticità in caso della presenza di MdR. Diversamente da campi agricoli o non sviluppati, privi di MdR, per i quali è possibile riutilizzare esternamente il materiale di scavo propedeutico al risviluppo del sito, nel caso di siti antropizzati sarà necessario valutare tale potenziale passività economica associata allo smaltimento del MdR.

2.2 *Tecnosuoli*

A livello internazionale, negli ultimi anni, alcuni studi di ingegneria pedologica stanno sviluppando l'utilizzo di materiale strutturale inorganico e materiale organico per ottenere caratteristiche simili alla composizione di un suolo naturale e in grado di fornire una base per

la crescita delle piante. Tali materiali sono costituiti da macerie provenienti da demolizione, mattoni, rifiuti di calcestruzzo, compost da rifiuti organici urbani, compost da fanghi di depurazione, bucce di arancia, fondi di caffè, ecc.

Il World Reference Base, sistema di classificazione internazionale dei suoli, nel 2006 ha per la prima volta introdotto i Tecnosuoli, che contengono manufatti creati o modificati a seguito di processi industriali o artigianali, quali mattoni, ceramiche, vetro, rifiuti industriali, asfalto e calcestruzzo[13].

I Tecnosuoli sembrano essere una buona soluzione ai problemi di degrado del suolo e del verde urbano, in quanto possono essere un'alternativa alla bonifica di siti contaminati e all'importazione di suolo agricolo fertile.

La costruzione di Tecnosuoli costruiti con materiali prodotti in loco si è dimostrata la scelta più sostenibile nell'ottica dell'approccio dell'economia circolare, riducendo al minimo i costi e l'impatto ambientale del trasporto, è necessario tuttavia implementare ulteriori studi per garantire che i materiali di partenza non siano contaminati, escludendo effetti tossici per l'ambiente e la salute degli esseri viventi.

2.3 Criticità

Dall'analisi della normativa attualmente vigente è possibile individuare alcune problematiche che vanno a creare difficoltà nella virtuosa gestione del MdR. Tra i punti di maggiore criticità si riportano i seguenti:

- Sulla base dell'esperienza maturata nelle attività di caratterizzazione ambientale, l'incidenza di MdR "non conformi" per il Test di Cessione risulta estremamente elevata;
- Un ulteriore fattore di aggravio è la scarsa rappresentatività dei campioni di MdR, poiché porzioni di terreno vicine possono avere origini molto diverse tra loro. Tale eterogeneità causa difficoltà nella caratterizzazione del terreno superficiale, il quale spesso viene asportato per il suo intero volume;
- Oltre ai costi per la gestione del MdR, un fattore critico per l'iniziativa privata è costituito dall'incertezza associata alle tempistiche, spesso condizionate dalle Autorità;
- Lo smaltimento di MdR comporta lo smaltimento presso impianti di gestione rifiuti, e la sostituzione con terreno vergine di cava o materiale riciclato. Una gestione di questo tipo non rispetta le logiche della sostenibilità e dell'economia circolare, sovraccaricando gli impianti di smaltimento dei rifiuti e contribuendo al consumo di suolo, che si ricorda essere una risorsa non rinnovabile;
- Le operazioni di bonifica costituiscono, inoltre, ulteriori impatti ambientali associati alla movimentazione del terreno con rilascio di polveri in atmosfera e all'utilizzo di mezzi pesanti come escavatori e bilici che generano emissioni di CO₂, nonché traffico e inquinamento acustico.
- L'avvio di numerose procedure ambientali, per fattori di scarsa rilevanza ambientale, infine, depaupera inoltre grandi quantità di risorse dagli Enti di protezione e controllo ambientale e dalle ARPA.

2.4 Proposte operative

Di seguito sono riportati alcuni interventi che potrebbero essere utili a limitare il consumo di suolo:

- Una definizione di maggiore dettaglio del MdR, possibilmente facendo riferimento a standard internazionali, implementati da anni in Paesi stranieri;
- Un'ulteriore revisione dei limiti previsti per i Test di Cessione, facendo riferimento ai requisiti di qualità previsti per il Materiale di Recupero o rifiuti Inerti e Non Pericolosi; attualmente si impongono per alcuni parametri dei livelli di qualità più stringenti sull'acqua estratta

dal materiale del sottofondo stradale di un'industria, rispetto ai limiti di qualità delle acque destinate al consumo umano;

- La possibile definizione di requisiti di qualità meno stringenti per orizzonti di terreno/MdR per i quali è prevista l'installazione di superfici impermeabili;
- Procedure più snelle, anche nel caso in cui il MdR venga notificato come non conforme.

3. Conclusioni

Parte delle criticità associate alla gestione del MdR è stata risolta dal recente Decreto Legge 77/2021, che ha definito, in alcuni casi dei limiti di riferimento meno stringenti rispetto ai precedenti e consentendo la gestione dei MdR non conformi anche mediante l'Analisi di Rischio. Per la presenza di anche un unico superamento nel Test di Cessione è prevista la notifica di "Sito Potenzialmente Contaminato" e la successiva procedura di bonifica ambientale[14], che comporta delle tempistiche, in media dai 2 ai 5 anni, incompatibili con le esigenze dei privati e i piani di sviluppo territoriali.

La gestione responsabile di suolo e sottosuolo è una questione di primaria importanza. La storia insegna che una cattiva amministrazione del territorio provoca l'erosione di suolo fertile, il che, come ipotizzato da molti studiosi, avrebbe determinato il collasso di intere civiltà sviluppate, come quelle dei Maya e di Rapa Nui. Pensare di essere lontani dai fenomeni accaduti alle civiltà antiche è fuorviante: il territorio italiano sta affrontando eventi del tutto simili a quelli osservati in antichità.

Sono urgenti delle politiche che effettivamente favoriscano il risviluppo delle aree dismesse e maggiori restrizioni per l'utilizzo di campi agricoli o aree naturali. Una revisione della normativa vigente può aiutare enormemente a contrastare l'avvento dei fenomeni di perdita di suolo e può inoltre contribuire alla promozione di politiche che facciano fede ai principi, mai così attuali, di sostenibilità ed economia circolare.

Bibliografia

[1] World Population Prospects 2022 – United Nations

[2] Rapporto SNPA "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici" Ed. 2021

[3] Art. 3, comma 1 Decreto Legge 2/2012

[4] Archivio Nazionale delle Indagini del Sottosuolo (ISPRA)

[5] Tabella 1, Allegato 5, Titolo 5, Parte IV, Decreto Legislativo 152/2006

[6] Appendice A della Norma UNI 10802, metodica prevista dalla norma UNI EN 12457-2

[7] Tabella 2, Allegato 5, Titolo 5, Parte IV, Decreto Legislativo 152/2006

[8] Riferimenti normativi: Decreto 5 febbraio 1998; Decreto Legislativo 152/2006 Allegato 5, Parte IV, Tabella 2; Decreto Legislativo 31/2001; Decreto 29 dicembre 2003, Decreto Ministeriale 12 novembre 1992, n. 542; Decreto MITE n. 278 del 15 luglio 2022 - Regolamento End of Waste (EoW); Decreto legislativo 13 gennaio 2003, n. 36, allegato 4, Tabella 2 e s.m.i.; Decreto legislativo 13 gennaio 2003, n. 36, allegato 4, Tabella 5, e s.m.i.

[9] Tabella 3 dell'Allegato 1 al Decreto MITE n. 278 del 15 luglio 2022

[10] Parte II, Capo VIII, del D.L. 77/2021

[1] Parte IV, Titolo V del Decreto Legislativo 152/2006

[2] Art. 4, comma 3 del Decreto Del Presidente della Repubblica 120/2017

[3] Schad P "Technosols in the World Reference Base for Soil Resources - history and definitions"

[14] Art. 242 del Decreto Legislativo 152/2006

Screening via drone di una discarica di RSU per la ricerca dei punti di emissione di metano

Giuseppe Tassielli giuseppe.tassielli@uniba.it, Bruno Notarnicola bruno.notarnicola@uniba.it, Pietro Alexander Renzulli pietro.renzulli@uniba.it, Rosa Di Capua rosa.dicapua@uniba.it, Maurizio De Molfetta maurizio.demolfetta@uniba.it, Donatello Fosco donatello.fosco@uniba.it
Università degli Studi di Bari “Aldo Moro”

Dipartimento Jonico in “Sistemi Giuridici ed Economici del Mediterraneo:
società, ambiente, culture”, Taranto, Italia

Riassunto

I gestori delle discariche per ottemperare a quanto previsto dalla normativa vigente, hanno l'obbligo di predisporre un Piano di Sorveglianza e Controllo che definisca i provvedimenti da attuare per monitorare le emissioni, sia gassose che diffuse, provenienti dal corpo discarica. Nell'ambito di questi monitoraggi è previsto anche il controllo delle emissioni diffuse di metano contenuto in biogas di discarica, al fine di evidenziare difetti nel sistema di gestione dell'impianto di suzione e trattamento del biogas, evidenziare hotspot emissivi derivanti da ammaloramento dello strato di capping o comunque sottolineare criticità sulle quali intervenire. Tale monitoraggio prevede differenti fasi tra cui il walkover survey, tradizionalmente condotto con l'ausilio di strumentazione FID, tale fase risulta tanto importante per un primo screening della situazione emissiva quanto difficoltosa da applicare specialmente rispetto ai tempi necessari per poter scansionare un intero sito discarica. Il fattore temporale infatti è il principale ostacolo ad una sistematicità nell'effettuare questo tipo di indagini. Il presente lavoro mostra come i droni, equipaggiati con apposita sensoristica e adoperati secondo specifiche progettuali ben definite, possano ritenersi un valido supporto proprio per l'attività di walkover survey. La corretta applicazione delle metodiche drone based, basata su precisi workflow, garantisce inoltre che l'output prodotto possa essere innanzitutto corretto dal punto di vista tecnico scientifico e soprattutto sia perfettamente utilizzabile per lo scopo previsto.

Summary

Despite the mandatory regulations regarding the collection of landfill biogas and the increasing performance of biogas collection systems, a part of the same is still dispersed into the atmosphere by the landfill site in the form of fugitive emissions. The monitoring and measurement of these emissions represent a challenge for the global improvement of the environmental profile of landfills and for the reduction of climate-altering emissions. This work illustrates a system for monitoring diffuse emissions of landfill biogas through the use of UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), also called drones, equipped with methane sensors. In particular, the setting of a system consisting of an aerial platform and payload capable of carrying out specific measurements is presented together with the advantages that this technique entails in field application and the output that can be obtained in a real case.

1. Introduzione

Il conferimento in discarica rappresenta un'opzione molto comune a livello mondiale per il trattamento dei rifiuti non pericolosi sia domestici che industriali. È noto che la degradazione anaerobica della materia organica di scarto in discarica produce biogas, composto principalmente da CH_4 e CO_2 , e percolato. Una tonnellata di rifiuti solidi urbani smaltita in discarica ha un potenziale produttivo di circa 200 m^3 di biogas in un periodo di circa 30 anni [1].

Nonostante vi siano normative obbligatorie in materia di raccolta del biogas da discarica e si assista a crescenti prestazioni dei sistemi di raccolta del biogas, una parte dello stesso viene comunque dispersa in atmosfera dal corpo di discarica sotto forma di emissioni fuggitive. Il monitoraggio e la misurazione di tali emissioni rappresenta una sfida per il miglioramento globale del profilo ambientale delle discariche e per la riduzione delle emissioni climalteranti [2] [3].

Il metano, difatti, è il secondo gas in termini di contributo al cambiamento climatico dopo l'anidride carbonica. Ha un potenziale di riscaldamento globale 27,9 volte maggiore dell'anidride carbonica su un arco temporale di 100 anni [4] ed è un potente precursore dell'inquinamento atmosferico, contribuendo alla formazione di ozono, a sua volta dannoso per la salute umana.

La recente comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni su una strategia dell'UE per ridurre le emissioni di metano (2020) [5] ha riportato che circa il 41% delle emissioni globali di metano proviene da fonti naturali, come zone umide o incendi. Il restante 59% è il risultato dell'attività umana (antropogenica), di cui le maggiori fonti sono l'agricoltura (40-53%), la produzione e l'uso di combustibili fossili (19-30%), e i rifiuti (20-26%). Nell'UE, il 53% delle emissioni antropiche di metano proviene dall'agricoltura, il 26% dai rifiuti e il 19% dall'energia.

Le discariche di rifiuti rappresentano, quindi, un settore importante di emissione, sul quale si rende necessario continuare ad investire in innovazione e tecnologia al fine di limitare le emissioni fuggitive in particolar modo di metano.

Una migliore gestione della discarica può derivare in primo luogo da una maggiore conoscenza delle emissioni sia in termini quantitativi che in termini di distribuzione superficiale; tale risultato si potrebbe ottenere in via preliminare attraverso il miglioramento della misurazione. A tal fine, si potrebbe procedere all'effettuazione di una campagna più efficace di monitoraggio e misurazione del biogas non captato tramite l'uso di sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR), anche detti droni, equipaggiati con apposita sensoristica.

Obiettivo del presente lavoro è quello di illustrare il processo di screening di una discarica effettuato con l'ausilio di un sistema aeromobile a pilotaggio remoto per monitorare le emissioni diffuse di biogas da discarica, come strumento di supporto ad una migliore gestione della discarica.

2. Normativa di riferimento per il monitoraggio del biogas da discarica e tecnica impiegata

La principale legge operante in Italia sulle discariche è rappresentata dal D.Lgs. 36/2003 recante norme in "Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti". In particolare l'articolo 8, comma 1, lettera i) indica che l'autorizzazione all'esercizio della discarica è subordinata all'approvazione di un Piano di sorveglianza e controllo *"nel quale devono essere indicate tutte le misure necessarie per prevenire rischi d'incidenti causati dal funzionamento della discarica e per limitarne le conseguenze, sia in fase operativa che post-operativa, con particolare riferimento alle precauzioni adottate a tutela delle acque dall'inquinamento provocato da infiltrazioni di percolato nel terreno e alle altre misure di prevenzione e protezione contro qualsiasi danno all'ambiente; i parametri da monitorare, la frequenza dei monitoraggi e*

la verifica delle attività di studio del sito da parte del richiedente sono indicati nella tabella 2, dell'allegato 2" [6].

L'allegato 2 al cap. 5 riporta le indicazioni necessarie per la redazione del Piano di sorveglianza e controllo. La verifica delle emissioni gassose, sia diffuse che convogliate, e della qualità dell'aria è riportata nel par. 5.4 che definisce i parametri di monitoraggio sul gas di discarica; essi devono comprendere almeno CH_4 , CO_2 , O_2 , con regolarità mensile, mentre altri parametri quali H_2 , H_2S , polveri totali, NH_3 , mercaptani e composti volatili devono essere monitorati in relazione alla composizione dei rifiuti. Si deve provvedere, inoltre, a caratterizzare quantitativamente il gas di discarica. La frequenza di tali misure deve essere quella indicata dalla tabella 2 dell'allegato 2 al Dlgs., salvo una diversa prescrizione dell'Autorità di controllo.

A fronte di tale prescrizione, però, la norma non indica quale tecnica deve o può essere impiegata per effettuare il monitoraggio. Pertanto, la metodologia attualmente maggiormente consolidata per il monitoraggio di queste emissioni è l'impiego della flux box. Tale risultato deriva dal fatto che è stata emanata dalla British Environment Agency una linea guida intitolata "Guidance on monitoring landfill gas surface emissions" - LFTGN07 v2 2010 - che individua nella camera di flusso lo strumento più adatto per tale tipo di analisi e allo stesso tempo spiega le modalità di elaborazione dei dati ricavati ai fini della stima del flusso emissivo [7]. Proprio la Linea Guida inglese al Capitolo 4, definisce gli aspetti operativi della Walkover Survey, indicando questa fase come fondamentale per l'individuazione di anomalie macroscopiche sia nel sistema di collettamento del biogas che per la copertura della discarica. Il medesimo documento definisce la fase di Walkover Survey come cronologicamente antecedente alla valutazione con flux box, consigliando prima della quantificazione dei flussi tramite camera d'accumulo di porre rimedio alle criticità evidenziate tramite il walkover. La figura 1 illustra il flusso delle operazioni suggerito dalla linea guida inglese per l'effettuazione di un corretto monitoraggio di un sito di discarica; le parti cerchiare evidenziano le fasi in cui è richiamato il walkover survey.

Risulta quindi chiaro come anche la normativa attribuisca peso del tutto rilevante a questa fase di screening, ponendola alla base della progettazione della successiva campagna di misurazione dei flussi emissivi. Purtroppo però i tempi necessari all'effettuazione dello screening completo di un sito discarica, specialmente se di grandi dimensioni, non rendo sistematizzabile questa analisi che talvolta viene svolta in maniera ridotta oppure addirittura omessa, passando direttamente alla quantificazione dei flussi emissivi con flux box.

Negli ultimi anni si è avuto un grosso sviluppo nel campo della sensoristica drone based e della ricerca dedicata al know how di utilizzo, sensoristica e know how non ancora adeguatamente implementati al momento dell'emanazione della linea guida inglese.

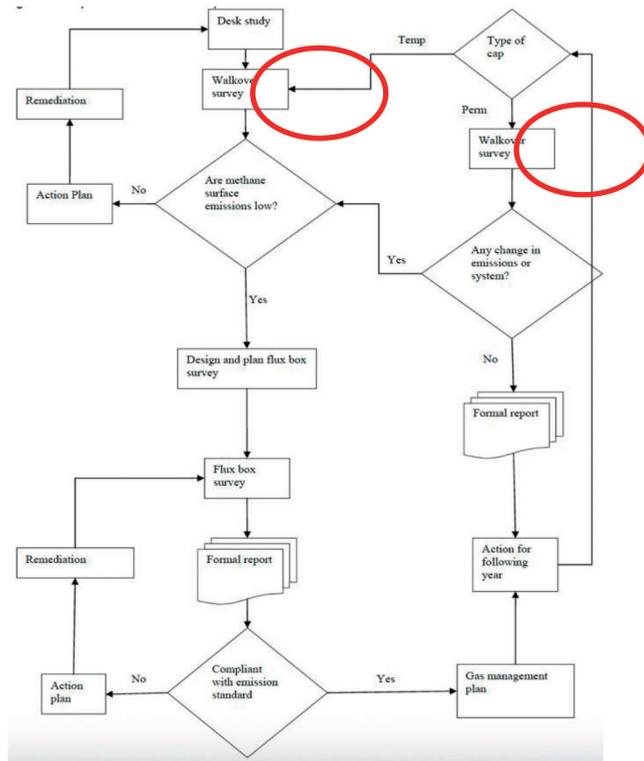


Fig. 1 – Workflow di monitoraggio tratto dalla LFTGN 07 del 2010

L'utilizzo di sensori per la misurazione di metano emesso dalle discariche montati su droni può costituire una valida alternativa alle tecnologie esistenti, sia utilizzati autonomamente che integrati con i sistemi esistenti, ad esempio con le camere di accumulo.

3. Protocollo di monitoraggio tramite drone di una discarica RSU

Il protocollo di monitoraggio di una discarica RSU tramite sensoristica drone based, prevede, come sancito anche dalla linea guida inglese per metodiche tradizionali, una prima fase di Desk Study. Tale fase consiste in primis nella raccolta di elementi tecnici, topografici, impiantistici e generici sul sito da monitorare, procedendo con la progettazione del rilievo in toto. Per rilievo infatti non si intendono solo le fasi di volo tramite drone utili all'acquisizione del dato ma anche le attività di corollario da svolgersi a terra, utili al consolidamento del dato. Frutto della fase di Desk Study sarà la pianificazione di approccio al monitoraggio, le metodiche di volo, i tempi di intervento, i parametri di rilievo ed ogni altro dettaglio attinente l'attività di campo sia in termini tecnico scientifici che logistici. La seconda fase, definibile di rilievo, prevederà la scansione dell'intera area di discarica con tecnologia drone based, seguendo quanto progettato in fase di desk study. L'osservanza dei dettami previsti in fase di progettazione garantirà, sin da questo momento, la correttezza e l'affidabilità del dato acquisito. Successivamente alla fase di rilievo, al termine della quale si saranno prodotti dei dataset definibili come "raw", si procederà con le fasi di osservazione primaria e consolidamento del dato acquisito. L'osservazione permetterà, tramite lo studio analitico dei dati, di individuare le

aree maggiormente emissive ed il consolidamento consisterà nel verificare ciascuna di queste aree con uno strumento hand held basato su tecnologia differente rispetto al sensore utilizzato su drone. Così facendo si avrà una validazione del dato acquisito che lo renderà robusto e coerente. Terminata la fase di validazione del dato si procederà alla post produzione ed all'analisi completa del rilevato, terminando il workflow di monitoraggio con la tematizzazione dei risultati e lo studio degli output grafico tabellari. Di qui, dagli output ottenuti dal protocollo sin qui descritto, si trarranno tutte le informazioni utili all'individuazione delle situazioni maggiormente emissive da corpo discarica. Le figure 2 e 3 mostrano alcuni output ottenibili in termini di hot spot a maggiore concentrazione (figura 2) o di aree maggiormente emissive sotto forma di heat map (figura 3).



Fig. 2 – Rappresentazione grafica puntuale degli hotspot emissivi rilevati da drone

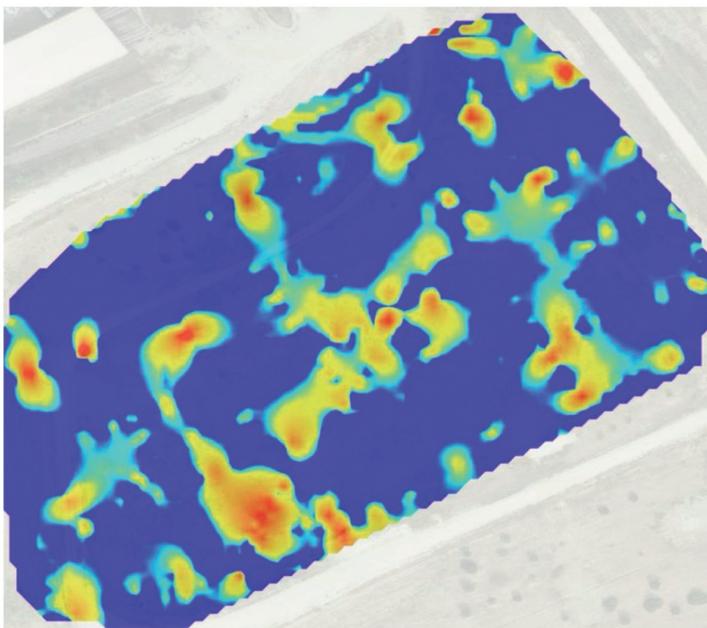


Fig. 3 – Visualizzazione delle aree maggiormente emissive differente dalla visualizzazione puntuale degli hotspot

4. Conclusioni

Poiché uno dei principali carichi ambientali della discarica è rappresentato dalle emissioni diffuse di biogas in atmosfera [8] [9], si rende sempre più indispensabile effettuare costanti ulteriori specifiche campagne integrative di monitoraggio delle emissioni dalla stessa.

La metodologia proposta nel presente paper, integrabile nel panorama delle tecniche di monitoraggio per la quantificazione delle emissioni diffuse da discarica è rappresentata dall'impiego di sistemi aeromobili a pilotaggio remoto equipaggiati con appositi sensori. Questa tipologia di protocollo, basato su tecnologia emergente, presenta notevoli potenzialità nell'applicazione sia per siti di discarica che per realtà impiantistiche con possibilità di emissioni diffuse di metano e può garantire un supporto informativo considerevole ai gestori, andando ben al di là della sola conformità normativa.

L'uso del sistema proposto richiede una elevata specializzazione, tecnica e normativa che consenta di individuare in primis il setup strumentale corretto in base a diversi parametri sito specifici ed ambientali ma al contempo richiede esperienza nella progettazione dei workflow e nella messa in pratica dei protocolli tecnici di intervento. Ogni singola fase, ogni singolo aspetto, contribuisce alla veridicità del dato ed alla correttezza tecnico scientifica dello stesso. Output robusti, vevoli ed affidabili si realizzano su dataset correttamente acquisiti, lavorati ed interpretati.

Bibliografia

- [1] **EPD system**, Product category rules according to ISO 14025. Product group classification: UN CPC 942, 943. *Solid waste disposal services*. Date 2015-04-07
- [2] **Lee U., Han J., Wang M.**, *Evaluation of landfill gas emissions from municipal solid waste landfills for the life-cycle analysis of waste-to-energy pathways*. Journal of cleaner production, 166, 335-342, 2017.
- [3] **Notarnicola B., Tassielli G., Renzulli P. A., Di Capua R.**, *Modellistica previsionale del biogas di discarica di rifiuti solidi urbani: proposta di un modello semplificato*. In: (a cura di): Benedetta Esposito Ornella Malandrino Maria Rosaria Sessa Daniela Sica, Atti del XXIX Congresso nazionale di scienze merceologiche 2020 "Le scienze merceologiche nell'era 4.0". p. 471-479, MILANO: FrancoAngeli, Salerno, 13-14 febbraio 2020.
- [4] **IPCC**. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. AR6. Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [5] **COM, 2020**. COM(2020) 663 final. *Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni su una strategia dell'UE per ridurre le emissioni di metano (2020)*.
- [6] **Decreto Legislativo 13 gennaio 2003, n. 36**. "Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti". Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 59 del 12 marzo 2003 - Supplemento Ordinario n. 40.
- [7] **British Environmental Agency**, *Guidance on monitoring landfill gas surface emissions*. LFTGN07 v2 2010. Consultato presso: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/321614/LFTGN07.pdf. 2010.
- [8] **Renzulli P. A., Tassielli G., Notarnicola B., Fedele A. G.**, *Miglioramento del profilo ambientale di un'azienda di gestione di rifiuti attraverso la Life Cycle Assessment*. Ingegneria dell'Ambiente, 4(3), 2017.
- [9] **Notarnicola B., Tassielli G., Renzulli P. A., Lasigna F., Leone G., Di Capua R.**, *Life Cycle Assessment of a Non-Hazardous Industrial Waste Treatment System*. In: Book of Papers of The 24th International Sustainable Development Research Society Conference (ISDRS 2018) Actions for a Sustainable World: From Theory to Practice. p. 498-511, Messina: The Organizing Committee of the ISDRS 2018 Conference, Messina, 13-15 June 2018.

Migliorare la sostenibilità ambientale. Il caso dei prodotti gicléeart.

Alfredo Ernesto Di Noia alfredo.dinoia@unifg.it, *Giuseppe Martino Nicoletti* giuseppe.nicoletti@unifg.it, *Giulio Mario Cappelletti* giulio.cappelletti@unifg.it, *Carlo Russo* carlo.russo@unifg.it, Dipartimento di Economia, Management e Territorio, Università di Foggia, Foggia

Riassunto

Il contributo presenta i risultati di un'indagine, realizzata presso i clienti di un'azienda operante nel mercato nazionale B2B e B2C della stampa digitale con tecnica "giclée", volta a comprendere il livello di percezione della sostenibilità dei propri clienti/consumatori.

L'indagine ha valutato l'importanza degli aspetti della sostenibilità ambientale specifici della "stampa fine art" e degli altri prodotti/servizi gicléeart realizzati dall'azienda; ha analizzato la disponibilità ad acquistare prodotti caratterizzati da elevata sostenibilità ambientale; ha valutato il livello di utilità attribuito a molteplici tipologie di strumenti di sostenibilità ambientale.

I risultati hanno evidenziato alcune incoerenze nella collocazione di alcuni aspetti ambientali nella classifica di importanza rispetto al livello di utilità attribuito al relativo strumento specifico.

Summary

The contribution presents the results of a survey, carried out on the customers of a company operating in the national B2B and B2C market of digital printing with "giclée" technique, aimed at understanding the level of perception of sustainability of its customers / consumers.

The survey assessed the importance of the aspects of environmental sustainability specific to "fine art printing" and other gicléeart products / services made by the company; analyzed the willingness to purchase products characterized by high environmental sustainability; assessed the level of utility attributed to multiple types of environmental sustainability tools.

The results highlighted some inconsistencies in the placement of some environmental aspects in the ranking of importance with respect to the level of utility attributed to the relative specific instrument.

1. Introduzione

Nell'era post-covid il comportamento di acquisto del consumatore si sta orientando verso la ricerca della "verità" aziendale che va oltre al brand e all'immagine [1]. Da una parte, è sempre più interessato a tutto il processo produttivo, dalla catena di fornitura delle materie prime, alle modalità di distribuzione dei prodotti, fino ai relativi impatti ambientali. Dall'altra, il consumatore manifesta l'indisponibilità a pagare una somma maggiore per un prodotto caratterizzato da un ridotto impatto ambientale malgrado la consapevolezza della necessità di una riconversione ambientale dell'economia [2] [3] [4]. Ciò potrebbe dipendere dall'instabilità economica generata dalle crisi in atto (sanitaria, bellica e ambientale). Ma può anche dipendere da non corretta o assente percezione della sostenibilità ambientale. Ciò anche per mancanza di informazioni adeguate [4] [5]. In altri casi si rilevano delle incoerenze e mancanza di chiarezza, come per la percezione della sostenibilità della risorsa idrica degli italiani. Le cui politiche di tutela anche se

considerate come la seconda priorità di azione a livello nazionale, sono percepite dai cittadini come un problema che non riguarda il proprio territorio [6]. Il contributo presenta i risultati di un'indagine, realizzata presso i clienti di un'azienda operante nel mercato nazionale B2B e B2C della stampa digitale con tecnica "giclée", volta a comprendere il livello di percezione della sostenibilità dei propri clienti/consumatori. L'indagine ha valutato il livello di importanza attribuito agli aspetti della sostenibilità ambientale specifici della "stampa fine art" e degli altri prodotti/servizi gicléeart realizzati dall'azienda; ha analizzato la disponibilità ad acquistare prodotti caratterizzati da elevata sostenibilità ambientale; ha valutato il livello di utilità attribuito a molteplici tipologie di strumenti di sostenibilità ambientale.

2. La percezione della sostenibilità ambientale

2.1 Definizioni

La percezione della sostenibilità si riferisce al giudizio o alla valutazione di un individuo di questioni ambientali, o di un evento basato su esperienze personali e atteggiamenti verso determinate condizioni ambientali" [7]. Tale percezione si può generare in modi diversi poiché l'ambiente è percepito dagli individui in modi molteplici e differenziati e la comprensione avviene da una prospettiva soggettiva basata su una realtà concreta. Inoltre, la percezione è condizionata da fattori inerenti all'individuo stesso impressi dalla società e derivati dalle relazioni ottenute con l'ambiente: fattori educativi, culturali, emotivi, affettivi e sensoriali [8].

2.2 Metodologia

L'indagine sulla percezione della sostenibilità ambientale è stata realizzata mediante la somministrazione di un questionario ad un campione di clienti della "Videophoto Graphica di Luca Buongiorno" (con tecnica di stampa digitale "giclée"; con comunicazione con gicléeart). Il campione utilizzato nell'indagine è composto da 150 clienti (B2B) e consumatori (B2C) che rappresenta il 37% circa del portafoglio clienti/consumatori. Il criterio di selezione impiegato è consistito nel richiedere al rappresentante legale di selezionare le imprese con criteri che riteneva più validi in base alla sua esperienza imprenditoriale. Quindi, i criteri di selezione impiegati sono stati il livello di volume d'affari e le caratteristiche relative alle relazioni interpersonali, in particolare fiducia e stima, e percezione di "sintonia" nelle comunicazioni aziendali. In tal senso, il rappresentante legale ha dichiarato che il criterio di selezione generale di selezione dei partecipanti all'indagine è stato quello della maggiore probabilità di intensificazione dei rapporti commerciali. L'indagine è stata anticipata dall'invio di una mail da parte del rappresentante legale in cui ha spiegato le motivazioni aziendali alla base dell'indagine ed il fine di orientare verso una maggiore sostenibilità ambientale le scelte aziendali.

Il questionario è stato somministrato mediante l'invio di *Google Moduli*® nel periodo di 09-24/06/2022, con l'invio di tre mail per ricordare della compilazione a coloro i quali non avevano ancora provveduto. Nel questionario si specificava che "l'obiettivo generale del questionario, rivolto al titolare dell'organizzazione cliente, è di valutare l'attrattività del miglioramento della sostenibilità ambientale della "stampa fine art" e degli altri prodotti /servizi della Gicléeart di Luca Buongiorno". Nel contributo presentiamo i risultati dell'indagine relativa alle tre seguenti domande:

- Quale tra i seguenti fattori principali della sostenibilità ambientale 'più significativi' Lei considera più importante nella stampa fine art e negli altri prodotti e servizi offerti dall'azienda? (Tabella 1)
- Quanto è disposto a pagare in più la stampa fine art e gli altri prodotti/servizi dell'azienda con un ridotto impatto ambientale, in possesso anche di attestazione/certificazione ambientale? (Tabella 2)

- Quale livello di “utilità” attribuisce alle seguenti tipologie di attestazione/certificazione ambientale per prodotti/servizi e/o per l’azienda? (Tabella 3)

La domanda n. 1 richiedeva la compilazione di una classifica (dalla prima alla terza posizione) per le tre macrocategorie e per i relativi fattori principali (Tabella 1). Nella elaborazione delle risposte i punteggi assegnati alle tre posizioni delle classifiche sono stati: per la prima posizione 57,14 punti (pari al doppio della seconda posizione), per la seconda 28,57 punti (pari al doppio della terza posizione) e per la terza posizione pari a 14,29 punti. Infine, si è provveduto a calcolare sia le media (per la macrocategoria e per i fattori principali) sia la percentuale raggiunta dai singoli fattori principali. Ciò al fine di compilare la loro classifica (Tabella 1).

La domanda n. 2 richiedeva di selezionare la classe di aumento di prezzo “accettato” in caso di “etichettatura” della sostenibilità ambientale (Tabella 2).

La domanda n. 3 richiedeva la selezione del livello di utilità secondo la seguente scala: Inutile (I), Poco Utile (PU), Utile (U), Molto Utile (MU). Inoltre, nel caso in cui non si conosceva lo strumento di sostenibilità si dava la possibilità di selezionare la risposta “Info non disponibile” (Ind) (Tabella 3). Infine, il questionario richiedeva di selezionare i dati anagrafici generali relativi a: genere, classe di età, esperienza di lavoro nel settore e livello di istruzione (Tabella 4).

| Domanda 1: Quale tra i seguenti fattori principali della sostenibilità ambientale ‘più significativi’ Lei considera più importante nella stampa fine art e negli altri prodotti e servizi offerti dall’azienda “gicléeart di Luca Buongiorno”? | | | | | |
|---|---------------------------------|---|---------------------------------|----------|-----------|
| Macrocat-egoria | Media per macrocategoria | Fattori principali | Media fattore principale | % | CI |
| a. Materie prime e sostanze tossiche e/o pericolose | 46,78 | a.1 - Riduzione consumo di materia prima (es. carta, imballaggi, ecc.) | 28,93 | 13,53 | IV |
| | 46,78 | a.2 - Riduzione e/o sostituzione di sostanze tossiche e/o pericolose con altre più rispettose dell’ambiente | 39,29 | 18,38 | I |
| | 46,78 | a.3 - Impiego di carte e imballaggi in materiali a basso impatto ambientale | 31,79 | 14,87 | II |
| b. Emissioni in atmosfera | 23,93 | b.1 - Riduzione consumo elettricità e consumo carburante per i trasporti | 34,64 | 8,29 | VII |
| | 23,93 | b.2 Impiego per le consegne ai clienti finali e per trasporti intermedi di automezzi (tipo elettrico, ibrido, a metano, GPL o biocarburante) e di trasportatori terzi in possesso di Certificazioni o Registreazioni ambientali (ISO 14001 o Emas) e/o con accordi volontari per riduzione o compensazione emissioni generate | 26,79 | 6,41 | IX |
| | 23,93 | b.3 - Impiego di energia elettrica da fonti rinnovabili | 38,57 | 9,23 | V |

Segue

| Domanda 1: Quale tra i seguenti fattori principali della sostenibilità ambientale ‘più significativi’ Lei considera più importante nella stampa fine art e negli altri prodotti e servizi offerti dall’azienda “gicléeart di Luca Buongiorno”? | | | | | |
|---|-------|------------------------------------|-------|-------|------|
| c. Gestione rifiuti | 29,29 | c.1 - Riduzione rifiuti pericolosi | 47,14 | 13,81 | III |
| | 29,28 | c.2 - Impiego scarti di produzione | 30,71 | 9,00 | VI |
| | 29,28 | c.3 - Riduzione rifiuti urbani | 22,14 | 6,49 | VIII |

Tab. 1 – Macrocategorie e categorie della domanda 1: medie, percentuali e classifica

*Legenda: Classifica (Cl), percentuale = media macrocategoria * media fattore principale / 100 (%) Fonte: [ns elaborazione]*

| Domanda 2. Quanto è disposto a pagare in più la stampa fine art e gli altri prodotti/servizi dell’azienda “gicléeart di Luca Buongiorno” con un ridotto impatto ambientale, in possesso anche di un’attestazione/certificazione ambientale? | | |
|--|---------------------------|---|
| Classi aumento prezzo (%) | Numero rispondenti | Rispondenti per classi di aumento prezzo (%) |
| 0 | 3 | 6,4 |
| 5 | 24 | 51,1 |
| 10 | 18 | 38,3 |
| 15 | 2 | 4,3 |
| 20 | 0 | 0 |

Tab. 2 – Classi di aumento del prezzo, numero rispondenti e relativa percentuale

Fonte: [ns elaborazione]

2.2 Risultati e discussione

I risultati dell’indagine evidenziano per la domanda n. 1 un tasso di risposta pari al 27% (per errori di compilazione della classifica richiesta solo n. 40 delle n. 47 risposte ricevute sono state ritenute corrette). Tale tasso è inferiore rispetto al 31% raggiunto dalle domande n. 2 e n. 3. I risultati relativi ai fattori principali della sostenibilità ambientale ‘più significativi’ evidenziano alcune incoerenze nella loro collocazione nella classifica di importanza (Tabella 1) rispetto al livello di utilità attribuito al relativo strumento specifico (Tabella 3). Infatti, mentre tra i fattori principali più significativi “l’impiego di energia elettrica da fonte rinnovabili” è collocata in quinta posizione, il livello di utilità attribuito al suo impiego come strumento di sostenibilità ambientale “etichettato” si colloca nella prima posizione (sommando le risposte U+MU). Inoltre, nella Tabella 1 alcune decisioni aziendali che introdurrebbero soluzioni orientate all’importante tema dell’economia circolare, come “l’impiego di scarti di produzione”, sono state selezionate ad un livello basso di importanza (in quartultima posizione).

| Domanda 3. Quale livello di “utilità” attribuisce alle seguenti tipologie di attestazione/certificazione ambientale per prodotti/servizi e/o per l’azienda “gicléart di Luca Buongiorno”? | | | | | | | |
|--|----------|-----------|------------|----------|-----------|-------------|-------------|
| Strumenti sostenibilità | I | PU | Ind | U | MU | U+MU | Cl |
| 3.1 Energia elettrica da fonte rinnovabile certificata | 2 | 4 | 7 | 24 | 10 | 34 | I |
| 3.2 Marchio Eco-Print certificato da parte terza | 3 | 6 | 7 | 19 | 12 | 31 | II |
| 3.3 Attestazione consumo di anidride carbonica (CO ₂) con compensazione crediti di carbonio e/o piantumazione alberi | 1 | 7 | 9 | 20 | 10 | 30 | III |
| 3.4 Attestazione consumo di anidride carbonica (CO ₂) | 2 | 9 | 9 | 23 | 4 | 27 | IV |
| 3.5 Comunicazione ambientale | 3 | 4 | 13 | 21 | 6 | 27 | IV |
| 3.6 Certificazione riduzione impronta carbonio certificata | 2 | 9 | 10 | 23 | 3 | 26 | VI |
| 3.7 Indicatori di performance ambientali | 2 | 9 | 10 | 21 | 5 | 26 | VI |
| 3.8 Impronta di carbonio certificata con compensazione con crediti di carbonio e/o piantumazione alberi | 2 | 6 | 15 | 20 | 4 | 24 | VIII |
| 3.9 Sistemi gestione ambientale (ISO 14001) certificato | 3 | 8 | 12 | 21 | 3 | 24 | VIII |
| 3.10 Analisi del ciclo di vita (LCA) | 2 | 9 | 14 | 19 | 3 | 22 | X |
| 3.11 Certificazione forestale e di catena di custodia (FSC) | 2 | 11 | 13 | 19 | 2 | 21 | XI |
| 3.12 Certificazione forestale e di catena di custodia (PEFC)] | 2 | 12 | 16 | 14 | 3 | 17 | XII |

Tab. 3. – *Strumenti di sostenibilità, numero rispondenti e classifica.*

Legenda: Inutile (I), Poco Utile (PU), Info non disponibile (Ind), Molto Utile (MU), Utile + Molto Utile (U+MU), Classifica (Cl)

Fonte: [ns elaborazione]

| a. Genere | N. | b. Classe Età | N. | c. Esperienza | N. | d. Livello di istruzione | N. | |
|-----------|----|----------------|----|----------------|----|-----------------------------------|----|----|
| Maschio | 15 | 20 anni o meno | 0 | 5 anni o meno | 8 | Licenza media | 0 | |
| Femmina | 32 | 21-30 anni | 1 | 6-10 anni | 21 | Scuola media superiore | 13 | |
| | 47 | 31-40 anni | 19 | 11-15 anni | 12 | Laurea | 29 | |
| | | 41-50 anni | 21 | 16-20 anni | 2 | Altro (corsi di formazione, ecc.) | 5 | |
| | | 51-60 anni | 5 | Più di 20 anni | 4 | | 47 | 47 |
| | | 61 anni o più | 1 | | | | | |
| | | | 47 | | | | | |

Tab. 4 – Dati anagrafici dei rispondenti al questionario sulla percezione della sostenibilità ambientale.

Legenda: numero rispondenti (N.)

Fonte: [ns elaborazione]

Addirittura un risultato peggiore è stato riservato ai “trasporti più green” (in ultima posizione). Infatti, non è presa in considerazione come fattore principale della sostenibilità “più significativo” la conseguente riduzione delle emissioni correlate alla sostituzione dei trasporti alimentati da fonti fossili (trasporti “black”). La distorsione di percezione della sostenibilità è evidente poiché tali servizi di trasporto “black” rappresentano la norma nella consegna del prodotto/servizio oggetto dell’indagine, ed in misura elevata in destinazioni molto lontane da quella del luogo di produzione.

Le incoerenze erano considerabili “quasi normali” nel periodo pre-covid poiché la percezione della sostenibilità risultava bassissima [5]. Nel periodo covid e post-covid, pur assistendo ad un incremento della percezione della sostenibilità ambientale, in linea con i risultati dell’indagine, si rileva ancora un’importante “confusione sull’etichettatura ambientale”, tanto che la mancanza di informazioni sufficienti viene indicata come una delle principali barriere per sviluppare la percezione della sostenibilità ambientale necessaria per la definizione di scelte orientate alla sostenibilità nello stile di vita dei consumatori [4]. In tal senso, una delle cause potrebbe risiedere nel fatto che i consumatori sono spesso sovraccarichi di informazioni non adeguate rispetto alle decisioni di acquisto relative alla sostenibilità, come nel caso del rispetto per il clima [9]. Quindi dovrebbe essere elaborata una strategia di comunicazione mirata a superare la confusione generata da questo sovraccarico, focalizzando l’attenzione sui fattori più significativi ed i coerenti strumenti di etichettatura ambientale, al fine di rendere “consapevoli” i potenziali consumatori.

Infine, nell’indagine è stato analizzato uno tra i fattori più importanti nel concetto di sostenibilità ambientale che riguarda la relazione con il prezzo di vendita, poiché gioca un ruolo centrale nella soddisfazione, nell’intenzione di acquisto e nella fedeltà ai prodotti/servizi aziendali. [3]. In particolare, nell’indagine è stata analizzata la disponibilità ad accettare un aumento di prezzo legato alla sostenibilità ambientale. I risultati evidenziano che oltre il 50% dei rispondenti è disponibile ad accettare un aumento di prezzo pari al 5%; in aggiunta, più di un terzo è disponibile ad accettare un aumento maggiore (pari al 10%) (Tabella 3). Quindi, l’indagine ha consentito di rilevare una potenziale disponibilità ad accettare un aumento del prezzo in controtendenza rispetto a recenti indagini che evidenziano un effetto negativo sulla soddisfazione del consumatore [3] [4]. Alla luce di questa indagine, l’azienda oggetto dello

studio potrebbe essere orientata ad offrire prodotti/servizi sostenibili fissando un livello di “prezzo adeguato” [3], che contempla un aumento di prezzo compreso nel range 5-10%, senza temere la potenziale riduzione della domanda. Tuttavia, la stima dei ricavi generati dall’aumento ad un livello di “prezzo adeguato” dovrebbe essere tenuto presente nella definizione del budget relativo alla previsione degli aumenti di costo, collegati al raggiungimento dell’etichettatura della sostenibilità ambientale dei prodotti/servizi. In tal senso, la definizione di “prezzi adeguati” consentirebbe ai consumatori “consapevoli” di sentirsi “felici” di utilizzare tali prodotti/servizi sostenibili ed economici e, quindi, ciò si rifletterebbe positivamente sul loro comportamento di acquisto. Nella tabella 4 si evidenzia tra i dati anagrafici dei rispondenti che il 68% è composto da femmine, oltre l’85% è appartenente nelle classi di età tra 31-40 anni (40%) ed i 41-50 anni (45%). Inoltre, in relazione alle esperienze di lavoro nel settore i rispondenti per oltre il 70% operano nei seguenti due range: da 6-10 anni (45%) e da 11-15 anni (25%). In aggiunta, oltre il 62% dei rispondenti ha conseguito la laurea. I dati anagrafici potrebbero consentire all’azienda la definizione di un “target di mercato” sensibile alla sostenibilità ambientale.

Il target diventerebbe il destinatario di una strategia di marketing mirata per promuovere i prodotti/servizi con sostenibilità “etichettata”, ad un “prezzo adeguato”. Tale composizione del target costituirebbe il gruppo di clienti/consumatori di riferimento per definire ed elaborare una strategia di comunicazione dedicata per migliorare la percezione di sostenibilità ambientale legate ai prodotti/servizi forniti dall’azienda, in modo da perseguire l’obiettivo generale di correggere le distorsioni di analisi rilevate nell’indagine. La strategia di comunicazione se orientata alla diffusione della conoscenze relative agli strumenti di “etichettatura ambientale” consentirebbe di svilupparne l’interesse e l’attrattività nel loro specifico mercato di riferimento, con i connessi miglioramenti conseguibili in termini di sostenibilità ambientale a livello aziendale.

3. Conclusioni

L’indagine realizzata ha migliorato la comprensione del livello di percezione della sostenibilità ambientale dei clienti/consumatori dell’azienda, misurando il livello di importanza attribuito ai fattori principali che incidono sugli specifici prodotti gicléeart, la disponibilità ad accettare un aumento di prezzo ed il livello di utilità assegnato agli strumenti da impiegare per ottenere una “etichettatura ambientale”. Alla luce di questa indagine, l’azienda potrebbe offrire prodotti/servizi sostenibili ad un livello di “prezzo adeguato” preservando la soddisfazione, l’intenzione di acquisto e la fedeltà dei consumatori/clienti. Infine, i risultati spingono a dare priorità ad una strategia di comunicazione più efficace verso i clienti/consumatori sui temi della salvaguardia ambientale per sviluppare una maggiore e migliore consapevolezza sulla tematica. Ciò al fine di amplificare i benefici aziendali generati dall’adozione degli strumenti di sostenibilità ambientale grazie al superamento della “confusione sull’etichettatura ambientale”. In tal senso si potrà conseguire un miglioramento della sostenibilità ambientale dell’azienda. Il limite dell’indagine riguarda la possibilità di beneficiare degli esiti solo per l’azienda oggetto del caso studio. D’altra parte, mancano studi sulla percezione della sostenibilità ambientale e sui diversi livelli di comportamento dei consumatori [3]. Quindi, l’indagine rappresenta una prima analisi da ampliare ad altre aziende del settore e da realizzare periodicamente.

Bibliografia

- [1] **Colletti G., Grattagliano F.**, “I consumatori sono a caccia di verità. Essere rilevanti fa la vera differenza”, Marketing24, Il Sole 24 Ore lunedì, 27 giugno 2022.
- [2] **dell’Orefice G.**, “La sostenibilità piace se i prezzi dei prodotti non aumentano”, Food24, Il Sole 24 Ore, 18 settembre 2021.
- [3] **Erdogan, G., Andreu, J.L., Amo, M.d.C.A.d.**, Consumers’ Environmental Sustainability Percep-

tions on Their Attitude: The Moderating Effect of Price: An Abstract. In: Allen, J., Jochims, B., Wu, S. (eds) Celebrating the Past and Future of Marketing and Discovery with Social Impact. AMSAC-WC 2021. Developments in Marketing Science: Proceedings of the Academy of Marketing Science. Springer, Cham., 2022, https://doi.org/10.1007/978-3-030-95346-1_22

[4] **Archer T., Cromwell E., Fenech C.**, “How consumers are embracing sustainability. Adoption of sustainable lifestyles is on the rise, but consumers need more help”, 2022. <https://www2.deloitte.com> (access: 10.09.2022).

[5] **Vincenzi S. L., Possan E., de Andrade D. F., Pituco M. M., de Oliveira Santos T., Jasse E. P.**, “Assessment of environmental sustainability perception through item response theory: A case study in Brazil”, *Journal of Cleaner Production*, 170:1369-1386, 2018.

[6] **AA.VV.**, “Valore acqua per l’Italia. Libro Bianco 2022. 3ª edizione”, The European House - Ambrosetti, 2022.

[7] **Bell P., Green T., Fisher J., Baum A.**, *Environmental Psychology*. 5th ed., Wadsworth/Thomson Learning; Belmont, CA, USA: 2001.

[8] **Lucio L.P., Machado M.K., de Moraes Hoefel J.L.**, Sustainability Perceptions. In: Leal Filho, W. (eds) *Encyclopedia of Sustainability in Higher Education*. Springer, Cham., 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11352-0_191 (access: 10.09.2022).

[9] **Feucht Y., Zander K.**, “Consumers’ preferences for carbon labels and the underlying reasoning. A mixed methods approach in 6 European countries”, *Journal of Cleaner Production*, 178:740-748, 2018.

Contribution of authors

1, 2.1, References (Di Noia A.E.; Cappelletti G.M.,); 2.2 (Di Noia A.E.); 3 (Di Noia A.E.; Cappelletti G.M.); Supervision (Nicoletti G.M., Russo C.).

Pnrr, Pitesai e Crisi Ucraina, strumenti e acceleratori per la transizione ecologica: ma sarà davvero possibile?

Tiziana Fiorella, t.fiorella@unlaw.it, Studio Legale Ughi e Nunziante, Milano
Andrea Marega, a.marega@unlaw.it, Studio Legale Ughi e Nunziante, Roma
Cristina Maria Celotto, cm.celotto@unlaw.it, Studio Legale Ughi e Nunziante, Roma

Riassunto

Pnrr e Pitesai sono i principali strumenti dei quali il Governo Italiano si è avvalso per condurre quella che può essere definita una vera e propria Rivoluzione Copernicana nel settore delle energie rinnovabili, ossia la transizione del sistema socio-economico verso una società a impatto ambientale pari a zero.

Mai come ora, considerato l'attuale scenario storico-politico belligerante, il tema "energia" è diventato il fulcro degli interventi statali e delle riforme legislative e le azioni finalizzate alla progressiva e completa decarbonizzazione del sistema tanto utili quanto indispensabili.

Summary

The NRRP and the Pitesai are the main tools used by the Italian government to conduct what can be defined as a true Copernican Revolution in the renewable energy sector, i.e., the transition of the socio-economic system towards a zero environmental impact society.

Never before, given the current historical and political war scenario, has "energy" become the focus of state interventions and legislative reforms, with actions aimed at the progressive and complete decarbonisation of the system which are as useful as they are indispensable.

1. Introduzione

La transizione ecologica costituisce una priorità della NextGenerationEU ed in linea con gli obiettivi europei di decarbonizzazione entro il 2030, il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – PNRR – ha riservato 69,94 miliardi di Euro, vale a dire circa il 35% dello stanziamento totale, agli obiettivi climatici.

Ed è proprio la Seconda Missione del PNRR, denominata Rivoluzione Verde e Transizione Ecologica, dedicata ai grandi temi dell'agricoltura sostenibile, dell'economia circolare, della transizione energetica, della mobilità sostenibile, dell'efficienza energetica degli edifici, delle risorse idriche e dell'inquinamento, ad occupare la fetta più grande degli investimenti del Piano, con l'obiettivo – da realizzare in tempi relativamente brevi – di raggiungere un sistema socio economico sostenibile, verso una società a impatto ambientale pari a zero.

La progressiva e completa decarbonizzazione del sistema trova il suo principale volano nell'incremento della quota di energia prodotta da fonti di energia rinnovabile, nell'adeguamento e potenziamento delle infrastrutture, nell'implementazione dell'idrogeno e nello sviluppo di un trasporto locale più sostenibile. Interventi questi che – in base alle previsioni del PNRR – non possono prescindere dall'introduzione di fondamentali riforme legislative, tra cui la semplificazione delle procedure di autorizzazione per gli impianti di energie rinnovabili *onshore*

e *offshore*, la previsione di un nuovo quadro giuridico per sostenere la produzione da fonti rinnovabili e la proroga dei tempi e dell'ammissibilità degli attuali regimi di sostegno, nonché una serie di interventi normativi volti alla promozione della produzione e del consumo di gas rinnovabile e di idrogeno.

2. Relazione

2.1 *L'approvvigionamento di energia elettrica tramite le rinnovabili*

Le suddette riforme e la revisione sistematica del quadro giuridico in ambito energie rinnovabili sono state avviate già a partire dall'anno scorso con l'introduzione di importanti modifiche legislative, tutte volte alla semplificazione e facilitazione della realizzazione degli impianti. Si pensi, ad esempio, al D.L. 77/2021 (c.d. "Decreto Semplificazioni", convertito con L. n. 108/2021), che inserendo il comma 9-bis all'art. 6, D.Lgs n. 28/2011, ha previsto la possibilità di realizzare tramite Procedura Abilitativa Semplificata gli impianti fotovoltaici di potenza sino a 20 MW ricadenti in area a destinazione industriale, produttiva o commerciale disaccariche o lotti di discarica chiusi e ripristinati ovvero in cave o lotti di cave non suscettibili di ulteriore sfruttamento.

Ovvero al D.Lgs n. 199/2021 (c.d. "Decreto Rinnovabili", con il quale è stata data attuazione alla direttiva UE n. 2018/2001 – Direttiva Red II – sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili) che ha previsto, tra altro, l'obbligo di stabilire principi e criteri omogenei per l'individuazione delle superfici e delle aree idonee e non idonee all'installazione di impianti a fonti rinnovabili, stabilendo che – nelle more della suddetta individuazione – sono da considerarsi certamente idonee (art. 20): (i) le aree ove sono già installati impianti della stessa fonte e in cui vengono realizzati interventi di modifica non sostanziale ai sensi dell'articolo 5, commi 3 e ss., del D.Lgs n. 28/2011; (ii) le aree dei siti oggetto di bonifica individuate ai sensi del Titolo V, Parte quarta, del D.Lgs n. 152/2006; (iii) le cave e miniere cessate, non recuperate o abbandonate o in condizioni di degrado ambientale. Per l'installazione di impianti nelle aree idonee sono altresì state introdotte alcune semplificazioni procedurali, tra cui la non vincolatività del parere obbligatorio in materia paesaggistica (dal quale l'amministrazione competente al rilascio dell'autorizzazione può prescindere, qualora decorso il termine, lo stesso non venga espresso), nonché la riduzione di un terzo dei termini delle procedure di autorizzazione (art. 22).

Tanto brevemente rilevato, la revisione del quadro giuridico – in ottica semplificazione – in materia di rinnovabili ha – di recente – subito un'importante accelerazione in seguito alla crisi ucraina, in ragione della quale il Governo Italiano punterebbe ad anticipare i tempi della decarbonizzazione al 2025 e a diventare indipendente dal gas russo entro il 2023.

Traguardi certamente ambiziosi, per raggiungere i quali è stato adottato il D.L. n. 17 del 01.03.2022 (c.d. "Decreto Bollette" o "Decreto Energia"), convertito con L. n. 34 del 27.04.2022.

Per quanto qui di interesse, si segnala che tali norme prevedono alcune importanti semplificazioni in tema di autorizzazioni per l'installazione degli impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili, ed in particolare:

- Nelle aree idonee (identificate ai sensi dell'articolo 20 del Decreto Rinnovabili) la costruzione e l'esercizio di impianti fotovoltaici di nuova costruzione, nonché il potenziamento, il rifacimento e l'integrale ricostruzione di quelli esistenti (purché non venga variata l'area interessata) sono soggetti ai seguenti regimi:
- impianti fino a 1 MW: si applica la Dichiarazione di Inizio Lavori Asseverata – DILA – ai sensi dell'art. 6, D.lgs. n. 28/2011, per tutte le opere da realizzare su aree nella disponibilità del proponente;

- impianti da 1 MW e fino a 10 MW: si applica la Procedura Abilitativa Semplificata – PAS – ai sensi dell’art. 6 bis, D.lgs. n. 28/2011;
- impianti da 10 MW: si applica la procedura di Autorizzazione Unica – AU – ai sensi dell’art. 5 bis, D.lgs. n. 28/2011.
- Sono soggetti a DILA
- gli interventi di modifica non sostanziale che determinino un incremento della potenza installata e la necessità di ulteriori opere connesse senza incremento dell’area occupata;
- l’installazione di impianti fotovoltaici a terra di potenza inferiore a 1 MW, da realizzarsi in aree idonee, non sottoposte a vincoli di tutela culturale e del paesaggio e per le quali non siano previste procedure di esproprio.
- È considerata intervento di manutenzione ordinaria, non soggetta ad alcuna autorizzazione o atto di assenso, l’installazione di impianti solari fotovoltaici e termici sugli edifici, o su strutture e manufatti fuori terra diversi dagli edifici, fatta salva l’installazione su edifici di notevole interesse pubblico (individuati mediante apposito provvedimento amministrativo), per la quale è confermato l’obbligo della previa acquisizione dell’autorizzazione paesistica. La semplificazione non si applica agli immobili di pregio e nei centri storici qualora l’installazione di pannelli integrati riguardi coperture visibili da spazi pubblici esterni e da punti di vista panoramici e – in ogni caso – coperture i cui manti siano realizzati in materiali della tradizione locale.
- La PAS è stata estesa
- ai nuovi impianti fotovoltaici di potenza fino a 10 MW da realizzare in aree idonee, nonché agli impianti agro-voltaici da realizzarsi nel raggio di 3 km da aree a destinazione industriale, artigianale e commerciale. Per tali impianti la soglia a partire dalla quale è prevista la verifica di assoggettabilità a I.A. passa da 10 MW a 20 MW, purché le aree oggetto di installazione non siano classificate quali non idonee;
- agli impianti solari flottanti fino a 10 MW, ad eccezione degli impianti installati in bacini d’acqua all’interno di aree di notevole interesse pubblico, aree naturali protette o di siti rete Natura 2000.

Con il D.L. n. 50 del 17.5.2022 (c.d. “Decreto Aiuti”), convertito in legge con modificazioni dalla L. 15 luglio 2022, n. 91, è stato inoltre disposto che:

- la **PAS** per la costruzione e l’esercizio di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili nelle aree idonee, già prevista dal Decreto Rinnovabili, ovvero sia la non vincolatività del parere obbligatorio in materia paesaggistica nonché la riduzione di un terzo dei termini delle procedure di autorizzazione, si applica anche – ove ricadenti su aree idonee – alle infrastrutture elettriche di connessione degli impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili e a quelle necessarie per lo sviluppo della rete elettrica di trasmissione nazionale, qualora strettamente funzionale all’incremento dell’energia producibile da fonti rinnovabili;
- nei procedimenti di autorizzazione di impianti di produzione di energia elettrica alimentati da fonti rinnovabili, qualora il progetto sia sottoposto a VIA statale, le eventuali deliberazioni del Consiglio dei Ministri sostituiscono il provvedimento di VIA.
- al fine di aumentare la capacità di produzione di energia elettrica rinnovabile, alle imprese operanti nel settore agricolo, zootecnico e agroindustriale è consentito realizzare impianti fotovoltaici sulle coperture delle proprie strutture produttive, con potenza eccedente il consumo medio annuo di energia elettrica, compreso quello familiare. È consentita, inoltre, la vendita dell’energia elettrica prodotta.

In relazione alle aree idonee, il Decreto Energia, tra altro, inserisce le aree a destinazione industriale, artigianale, per servizi e logistica tra quelle privilegiate all’installazione ed amplia l’elenco delle aree idonee *ex lege*. Sul punto è intervenuto anche il Decreto Aiuti che ha annoverato tra le aree idonee quelle non interessate dalla presenza di beni sottoposti a tutela ai

sensi del decreto legislativo n. 42 del 2004 (Codice dei Beni Culturali), né ricadenti nella fascia di rispetto dei beni tutelati ai sensi della parte seconda oppure dell'articolo 136, aree di notevole interesse pubblico, dello stesso codice. In questo caso la fascia di rispetto è determinata considerando una distanza dal perimetro di beni sottoposti a tutela di sette chilometri per gli impianti eolici e di un chilometro per gli impianti fotovoltaici.

Al di là delle semplificazioni procedurali – sopra sinteticamente descritte –, la transizione verde non può prescindere da strumenti di incentivazione economica, in relazione ai quali, da un lato è intervenuto il Decreto Energia, che ha previsto deroghe al divieto di accesso agli incentivi degli impianti da collocarsi in aree agricole, dall'altro sono già al vaglio del Ministero della Transizione Ecologica il Decreto FER 2, con il quale si dovrebbero completare i meccanismi di sostegno – estendendoli alle tecnologie non mature o con costi operativi elevati (in linea con gli obiettivi fissati dal PNRR) – destinati a geotermia, eolico *offshore*, biomasse, biogas e solare termodinamico, nonché un “nuovo FER 1”, destinato alle tecnologie più mature.

2.2. *L'approvvigionamento di gas tramite gli idrocarburi nazionali*

Il 13 febbraio scorso, prima dell'invasione dell'Ucraina, il Ministero della Transizione Ecologica ha pubblicato il PiTESAI, ossia il Piano della transizione energetica sostenibile delle aree idonee, approvato il 28 dicembre 2021 con decreto ministeriale, in applicazione dall'art. 11-ter, D.L. n. 135/2018.

Obiettivo del Piano era l'individuazione, mediante un approccio strategico territoriale, di un quadro definito delle aree in cui è consentito lo svolgimento (e la prosecuzione) delle attività di prospezione, ricerca e coltivazione degli idrocarburi nazionali, per valorizzare la sostenibilità ambientale, sociale ed economica delle aree stesse e accompagnare la transizione del sistema energetico nazionale alla decarbonizzazione.

Con la formulazione del PiTESAI sono stati individuati i criteri ambientali, sociali ed economici, in base ai quali stabilire se una determinata area sia potenzialmente idonea alle attività minerarie e/o compatibile alla loro prosecuzione, se già in essere.

Le istanze di prospezione e ricerca potranno proseguire solo se riguardanti gas, solo se presentate a partire dal 1° gennaio 2010 e ricadenti in “aree potenzialmente idonee”.

Quanto alla coltivazione, il PiTESAI prevede anzitutto che i procedimenti relativi a istanze di concessione in “aree potenzialmente idonee” proseguono, così come quelli ricadenti in “aree potenzialmente non idonee”, purché il potenziale minerario di gas sia superiore a 150 MSmc. Nei casi in cui non sia stato accertato detto potenziale minerario, le concessioni di coltivazione in terraferma e in mare proseguono solo se hanno infrastrutture in essere o già approvate in “aree potenzialmente idonee”, salvo quelle improduttive da più di 7 anni prima dell'adozione del Piano per motivi dipendenti da scelte del concessionario, che invece non proseguono.

Inoltre, mentre le concessioni in mare proseguono anche se hanno una o più infrastrutture in “aree potenzialmente non idonee”, salvo quelle improduttive da più di 5 anni prima del Piano per motivi dipendenti da scelte del concessionario, le concessioni in terraferma proseguono anche se hanno una o più infrastrutture all'interno di “aree potenzialmente non idonee”, purché siano produttive o improduttive da meno di 5 anni prima del Piano e a condizione che, a seguito di una particolare analisi dei Costi e Benefici (c.d. CBA) ottengano un risultato tale per cui i costi della mancata proroga siano superiori ai benefici. Infatti, in questo ultimo caso, le concessioni potranno restare in vigore e beneficiare di una proroga almeno fino a quando l'analisi dei Costi e Benefici, nel senso sopra precisato, ne giustificherà la prosecuzione.

Infine, le altre concessioni di coltivazione vigenti che, alla data di adozione del PiTESAI non ricadranno nella predetta casistica, resteranno in vigore fino alla scadenza – da intendersi come scadenza del titolo o della proroga anche in corso di rilascio – senza possibilità di eventuali ulteriori proroghe.

Numerose e rilevanti sono le perplessità che suscita il PiTESAI sul piano giuridico. Al di là della discutibilità della scelta strategico-politica di limitare le attività minerarie sul gas, visto il limitato impatto inquinante di tali attività, si pensi soltanto al fatto che le concessioni di coltivazione a gas, per essere rilasciate, hanno dovuto superare procedure ambientali VIA-AIA *ad hoc*. I criteri di individuazione delle aree non idonee non risultano fondati su istruttorie altrettanto specifiche e approfondite. Non è facile comprendere, pertanto, la *ratio* sottostante al divieto di ulteriori proroghe. Inoltre, il rischio sotteso alle limitazioni introdotte dal PiTESAI riguarda la violazione del legittimo affidamento nonché dei diritti e interessi degli investitori che potrebbero anche intentare contro lo Stato italiano giudizi risarcitori per importi estremamente elevati.

A conferma di tali perplessità, a fronte dello scenario descritto, lo scoppio della guerra tra Russia e Ucraina ha costretto il Governo italiano ad un celere e drastico ripensamento dei suoi contenuti, attraverso l'approvazione, a fine marzo scorso, del Decreto Energia, che ha introdotto misure urgenti per contrastare gli effetti economici e umanitari della crisi ucraina. In particolare, l'art. 16 del Decreto Energia ha fissato una serie di misure per fronteggiare l'emergenza caro energia attraverso il rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento di gas naturale a prezzi equi e la riduzione delle emissioni di gas climalteranti.

La previsione ha eliminato la distinzione tra aree produttive e improduttive da più di 5 o 7 anni contenuta nel PiTESAI, ma ha mantenuto ferma la distinzione tra aree potenzialmente idonee e non, introducendo, con riguardo alle sole aree potenzialmente idonee, uno speciale *iter procedimentale* che consente al GSE, in accordo con il Ministero della Transizione Ecologica e il Ministero dell'Economia e delle Finanze, di valutare l'idoneità degli impianti alla produzione di gas naturale.

Segnatamente, è previsto che, entro trenta giorni dalla data di entrata in vigore del Decreto, il GSE -o le società da esso controllate- avvii, su direttiva del Ministro della transizione ecologica, procedure per l'approvvigionamento di lungo termine di gas naturale di produzione nazionale da tutti i titolari di concessioni di coltivazione di gas, a prescindere dal fatto che il loro impianto di coltivazione ricada in aree produttive da più di 7 o 5 anni o si trovi in condizione di sospensione volontaria dell'attività, ma a patto che l'impianto stesso ricada in tutto o in parte in aree considerate idonee secondo le indicazioni fornite nel PiTESAI.

Successivamente, il GSE invita i titolari di concessioni di coltivazione di gas naturale, ricadenti nella terraferma, nel mare territoriale e nella piattaforma continentale, a manifestare interesse ad aderire alle procedure di cui sopra, tramite la comunicazione al GSE, al MiTe e all'Arera, entro i successivi 30 giorni, di programmi di produzione di gas naturale delle concessioni in essere, per gli anni dal 2022 al 2031, nonché un elenco di possibili sviluppi, incrementi o ripristini delle produzioni di gas naturale per lo stesso periodo nelle concessioni di cui sono titolari, delle tempistiche massime di entrata in erogazione, del profilo atteso di produzione e dei relativi investimenti necessari.

I procedimenti di valutazione e autorizzazione delle opere necessarie alla realizzazione dei piani di interventi si concludono entro sei mesi dalla data di avvio dei procedimenti medesimi. Infine, il Decreto Aiuti ha introdotto alcune disposizioni in ottica di semplificazione e accelerazione della produzione di energia da combustibili fossili e rigassificazione. Nello specifico:

- i gestori degli impianti che producono energia da combustibili fossili comunicano all'Autorità competente al rilascio dell'Autorizzazione Integrata Ambientale, le deroghe necessarie alle condizioni autorizzative indicando altresì il periodo di durata non superiore a sei mesi, decorrente dalla data della notifica. Se alla scadenza di tale termine permane la situazione di eccezionalità i gestori comunicano all'Autorità competente le nuove deroghe necessarie alle condizioni autorizzative, indicando il periodo di durata delle stesse che, in ogni caso, non è superiore a sei mesi dalla data della nuova notifica;

- ha definito quali interventi di pubblica utilità, indifferibili e urgenti tutte le opere finalizzate all'incremento della capacità di rigassificazione nazionale e alla realizzazione di nuove unità galleggianti di stoccaggio e rigassificazione nonché le relative infrastrutture. Per accelerare tali opere, oggetto di un procedimento unico, saranno nominati uno o più Commissari straordinari di Governo. L'autorizzazione verrà concessa dal Commissario, sempre con procedimento unico, ma in tempi più rapidi: 120 giorni in luogo degli attuali 200, decorrenti dalla data di ricezione dell'istanza. Sarà interessante verificare se gli scenari geopolitici magmatici e le rinnovate esigenze di politica energetica possano indurre il Governo italiano ad ulteriori inversioni di marcia in materia di idrocarburi.

3. Conclusioni

Come abbiamo avuto modo di constatare, la recente normativa si propone l'ardito obiettivo della semplificazione e, al contempo, intende stimolare lo sviluppo di impianti di produzione di energia rinnovabile, con la precisa finalità di superare la dipendenza del sistema italiano dal gas di origine russa, resa sempre più necessaria dall'attuale situazione geo-storico-politica. Non resta che attendere di verificare se, sulle ceneri del vecchio ordito politico, il Nuovo Governo sarà in grado di vincere la sfida e portare a termine la missione nei tempi stabiliti.

Piani di azione a supporto dei servizi per l'economia green e circolare

Valeria Stacchini, valeria.stacchini@cittametropolitana.bo.it, Città metropolitana di Bologna

Riassunto

La Città metropolitana di Bologna negli ultimi anni ha partecipato attivamente a tre progetti Interreg Europe, lavorando per meglio raggiungere gli obiettivi delineati nel proprio piano strategico metropolitano, il PSM 2.0. I progetti, pur incentrati su temi diversi, sono legati da un filo conduttore e si pongono l'obiettivo di migliorare le politiche di supporto a una nuova imprenditorialità verde e circolare, prestando particolare attenzione alle realtà di piccole e piccolissime dimensioni. Grazie a questi progetti, si sono potuti avviare processi di apprendimento tra pari, approfondendo buone pratiche e scambiando informazioni con altri contesti europei. Sono inoltre stati elaborati piani di azione che troveranno attuazione nel prossimo anno, e renderanno possibile un più efficace raggiungimento degli obiettivi enunciati nel piano strategico per la promozione di un'imprenditorialità sostenibile.

Summary

The Metropolitan City of Bologna has actively participated in three Interreg Europe projects in recent years, working to better achieve the objectives outlined in its metropolitan strategic plan, PSM 2.0. The projects, while focusing on different themes, are linked by a common thread and aim to improve policies to support a new green and circular entrepreneurship, paying particular attention to small and very small businesses. Thanks to these projects, it has been possible to launch peer learning processes, deepening good practices and exchanging information with other European contexts. Action plans have also been drawn up, which will be implemented in the coming year, and will make it possible, more effectively, to achieve the objectives set out in the strategic plan, for the promotion of a sustainable entrepreneurship.

1. Introduzione

La gestione dei rifiuti, pur rappresentando una parte fondamentale per le politiche sull'economia circolare, non esaurisce le potenzialità di questo importantissimo settore. D'altra parte la strategia Europea del Green Deal indica l'economia circolare come strumento fondamentale per raggiungere la neutralità climatica [1]. L'economia circolare costituisce un nuovo modello di business, un vero e proprio cambio di paradigma, che cambia il modo in cui consumiamo e produciamo, ma che può generare un rapporto win-win-win per il mercato, l'ambiente e il sociale, favorendo nuove opportunità commerciali, sviluppando nuovi mercati e nuove imprese, creando nuovi posti di lavoro e dissociando la crescita economica dall'uso di risorse (favorendo la riparazione, il riutilizzo, il riciclo). L'approccio all'economia circolare deve necessariamente prendere in considerazione tutto il ciclo di vita dei prodotti e servizi, a partire già dalla fase di ideazione e progettazione, così come deve tenere conto della catena di fornitura e distribuzione. Le imprese sono quindi attori fondamentali per attuare questa rivoluzione. D'altra parte è urgente la necessità di adeguate politiche, affinché la trasformazione si realizzi in tempi rapidi.

L'economia circolare per affermarsi esige di un contesto collaborativo [2], della mobilitazione di diversi portatori di interesse, e di un nuovo sistema di governance, in grado di mettere in campo modalità, strategie e strumenti per favorire l'adozione di nuovi modelli di business.

2. La città metropolitana di Bologna: una start-up valley verde e circolare

La Città metropolitana di Bologna, attraverso il proprio Piano strategico metropolitano, si pone l'obiettivo di trasformare l'area metropolitana in un luogo fertile, dove fare crescere nuovi talenti, aumentando le opportunità di lavoro e le imprese innovative, e fare della proprio territorio una "start-up valley, promuovendo l'economia circolare e i green jobs, creando un ambiente favorevole alla creazione di nuovi "ecosistemi industriali", anche incoraggiando la contaminazione tra industria tradizionale e industria creativa, per creare innovazione e visioni alternative per il futuro.

L'area metropolitana di Bologna ha uno dei tassi di imprenditorialità più alti d'Italia, con un'impresa ogni dodici abitanti. Il territorio metropolitano conta più di 100.000 imprese, il 63% delle quali opera nei servizi e il 25% nel settore manifatturiero. Il 94% è costituito da microimprese, il 6% da PMI e solo lo 0,1% da grandi aziende. Anche le imprese straniere sono molto numerose nella regione. Secondo l'ultimo rapporto statistico metropolitano, nel 2020 il numero di nuove start-up nell'area metropolitana è stato di circa 4.500, in calo rispetto agli oltre 5.600 registrati nel 2019. Rispetto ai dati del 2000, si registra un calo complessivo del -21% per le iscrizioni e del -10% delle cessazioni. Nel periodo 2000-2019 i tassi di crescita degli avviamenti bolognesi sono sempre inferiori a quelli nazionali (che sono sempre positivi) ma dal 2009 sono superiori a quelli regionali. Per quanto riguarda le start-up innovative, se ne contano 3,8 ogni 1.000 imprese dell'area: un valore superiore alla media italiana (2,3) e, tra le 14 città metropolitane italiane, secondo solo a Milano. Il trend è stato in crescita fino al 2018 e negli ultimi due anni è stabile. Il tasso di imprenditorialità nell'area metropolitana è di 81,8 imprese attive ogni 1000 abitanti.

Le imprese femminili rappresentano il 21,3% del totale, le imprese gestite da imprenditori stranieri sono il 12,9% e le imprese giovanili (gestite da imprenditori fino a 35 anni) sono il 7,1% [3,4,5,6].

I principali impatti determinati dalla pandemia Covid, riguardano la chiusura e la trasformazione di molte attività a causa dell'improvvisa contrazione della domanda a seguito della pandemia (soprattutto per le aziende dei settori del turismo, dei trasporti e della cultura); la sospensione temporanea delle attività economiche e produttive a seguito delle misure di blocco governative (periodo di lockdown); cambiamenti nell'organizzazione del lavoro, quali il ricorso al cosiddetto smart working, ma anche lo sviluppo di nuovi servizi e prodotti. Il periodo della pandemia ha avuto un effetto asimmetrico sui diversi settori dell'economia: mentre molti hanno diminuito il reddito e l'occupazione nel 2020 (alcuni settori manifatturieri, il commercio al dettaglio, ad eccezione del settore alimentare, il settore della ristorazione ovvero bar, ristoranti, fast food), altri hanno invece registrato una crescita o un consolidamento. Alcuni studi sulle performance economiche delle aziende green dimostrano che sono state più resilienti in questo periodo di crisi economica. Nell'area metropolitana di Bologna nel 2020 il 20% delle imprese ha investito nella sostenibilità ambientale. Secondo i dati della Camera di Commercio, il 61% degli investimenti è stato destinato alla riduzione dei costi energetici, il 21% all'implementazione del riciclaggio dei rifiuti, il 15% alla riduzione delle emissioni di CO₂ e l'1% alla riduzione dell'inquinamento idrico [3,7].

La Città metropolitana di Bologna sta lavorando per arricchire i servizi offerti alle start-up e alle PMI in generale, consentendo un migliore ambiente imprenditoriale, in particolare sviluppando servizi e strumenti mirati per accompagnare gli investimenti strategici nell'area metropolitana. Insieme al miglioramento dei servizi, l'ente si è messo in gioco per migliorare

il sistema di governance, mobilitando tavoli e gruppi di lavoro, allo scopo di attivare nuove collaborazioni e percorsi condivisi, così da facilitare la diffusione di nuovi modelli di business.

2.1 La cooperazione territoriale e lo scambio di buone pratiche come leva per il miglioramento delle politiche

La Città metropolitana negli ultimi tre anni ha partecipato attivamente a tre progetti Interreg Europe, lavorando per meglio raggiungere questi obiettivi delineati nel PSM 2.0 [8]. Tutti e tre i progetti sono legati da un filo conduttore, ponendosi tutti e tre l'obiettivo di migliorare le politiche di supporto a nuova imprenditorialità, e in particolare quella verde e circolare, prestando particolare attenzione alle realtà di piccole e piccolissime dimensioni, approfondendo poi ciascuno aspetti o settori specifici. Grazie a questi progetti, si sono potuti avviare processi apprendimento, approfondendo buone pratiche sviluppate in altre aree europee e sono stati avviati confronti fra pari. Sono inoltre stati elaborati dai gruppi di lavoro locali piani di azione che troveranno attuazione nel prossimo anno, e renderanno possibile un più efficace raggiungimento degli obiettivi enunciati nel piano strategico. Questi piani si relazionano inoltre all'Agenda per lo Sviluppo Sostenibile 2.0 [9] e al Patto per lo Sviluppo sostenibile [10], in ottica di integrazione sinergica. L'opportunità poi di lavorare in modo integrato su progetti diversi, ha generato fecondazioni incrociate, anche inaspettate.

Il focus principale del progetto GRESS è stato quello di analizzare il quadro della green economy in Europa, evidenziando gli aspetti critici e le opportunità per le PMI e le start-up nei territori interessati dall'iniziativa (Norvegia, Bulgaria, Grecia, Polonia e Italia). In particolare, l'iniziativa mira a migliorare le politiche di rafforzamento della competitività delle PMI, rafforzando le capacità di promuovere e sostenere la formazione di start-up e spin-off sostenibili e competitivi nell'ambito dell'economia verde [11].

Il progetto SINCE-AFC è rivolto al miglioramento delle politiche sulle strategie regionali di innovazione, facilitando i meccanismi orizzontali che sostengono e promuovono l'imprenditorialità delle PMI nel settore agroalimentare, attraverso lo sfruttamento delle opportunità offerte dell'economia circolare. Il progetto SINCE-AFC raggiunge questo obiettivo promuovendo un processo di apprendimento interregionale (workshop, visite di studio) basato sullo scambio di buone pratiche e attraverso il coinvolgimento degli attori locali [12,13,14,15].

Il progetto START-EASY infine si propone di migliorare le condizioni per la crescita delle start-up, intervenendo sui processi decisionali e fornendo strumenti intelligenti che consentano un ambiente favorevole affinché le imprese possano avviarsi facilmente e rapidamente, stimolando l'attività di avviamento e la competitività delle imprese in Europa [16].

Tutti e tre i progetti hanno coinvolto reti di attori locali, e hanno condiviso un intenso periodo di scambio e di reciproco apprendimento fra le diverse realtà coinvolte. Questo processo ha permesso di identificare gli effettivi ambiti di azione e possibilità di miglioramento. Di seguito nella Tab.1 l'analisi SWOT elaborata per Città metropolitana di Bologna, come esempio del processo sviluppato:

| Analisi SWOT | | |
|-----------------|--|---|
| | Punti di forza | Punti di debolezza |
| Origine interna | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema regionale multilivello. • Qualità delle idee imprenditoriali. • Interventi normativi. • Partecipazione. • Attrattività del territorio locale. • Lunga esperienza sul campo. • Buona connessione con altre amministrazioni pubbliche. | <ul style="list-style-type: none"> • Disponibilità molto limitata per il coinvestimento di start-up. • Competenze. • Burocrazia. • Definizione delle competenze degli ONE-STOP-SHOP. • Accesso ai prestiti. • Tutoraggio e formazione. • Rischio di emarginazione. • Frammentazione territoriale • Comunicazione e diffusione. |
| | Opportunità | Rischi |
| Origine esterna | <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizzazione <ul style="list-style-type: none"> ◦ Comunicazione su database ◦ Competenze digitali • Integrazione tra ONE-STOP-SHOP e altri uffici come gli “Sportelli d’impresa”. • Integrazione dei servizi finanziari. • Miglioramento della collaborazione con altre istituzioni pubbliche. • Miglioramento delle attività di comunicazione e divulgazione verso l’esterno. • Possibilità di potenziamento delle infrastrutture e degli spazi. • Disponibilità di collaborazione con grandi aziende (logica di open innovation). | <ul style="list-style-type: none"> • Centro/Periferia: squilibrio di opportunità. • Frammentazione dei servizi tra gli attori pubblici (unione di comuni / comuni). • Incertezza legislativa/politica. • Crisi settoriali e differenze territoriali. • Concorrenza del settore privato. • Digitalizzazione. |

Tab. 1 – Analisi SWOT. Fonte: Piano di Azione di START-EASY della Città metropolitana di Bologna, 2022 [17].

Sulla base di queste informazioni e delle attività svolte con i partner di progetto, provenienti da vari stati europei, è avvenuto un reciproco scambio di esperienze e buone pratiche per favorire la predisposizione di misure concrete attuabili in ciascuna realtà locale. Infine ogni partner ha redatto un piano di azione in cui sono dettagliati gli interventi che saranno realizzati nei 12 mesi successivi per favorire il raggiungimento degli obiettivi dei rispettivi strumenti di policy, nel caso della Città metropolitana, del Piano Strategico Metropolitano (PSM). I progetti per i quali sono stati elaborati piani di azione sono tre [17,18,19]; nella Tab. 2 sono schematicamente indicate le relazioni con le strategie del PSM, le interrelazioni con gli SDG, gli ambiti e gli obiettivi di miglioramento, e le azioni delineate per ciascun piano:

| | START-EASY | GRESS | SINCE-AFC |
|--|---|--|--|
| PSM 2.0 – politiche settoriali indirizzate | <p>Promozione di nuova impresa e una maggiore imprenditorialità - Un incubatore di nuove idee: la Città metropolitana come Start-up Valley</p> <p>4.D: Sportello unico per le imprese - Rendere l'avvio di impresa semplice ed efficiente</p> | <p>Costruire l'identità della Città metropolitana come attrattiva per i giovani. Mira a trasformare il territorio in un luogo fertile dove far crescere nuovi talenti, valorizzando nuove opportunità di lavoro e quindi imprese innovative.</p> <p>Promozione di nuova impresa e una maggiore imprenditorialità - Un incubatore di nuove idee: la Città metropolitana come Start-up Valley; rispondendo alla necessità di favorire l'economia circolare e i green jobs nel territorio metropolitano, creando un ambiente favorevole alla creazione di nuovi "ecosistemi industriali" e orientando la promozione di nuove imprese verso i temi strategici dell'economia circolare.</p> | <p>Tutela e valorizzazione dell'ambiente, del territorio rurale e del paesaggio: la valorizzazione del territorio rurale deve concentrarsi su due aspetti primari: la tutela del paesaggio e il potenziamento delle risorse per la sussistenza alimentare, promuovendo un'agricoltura sostenibile e altamente produttiva.</p> <p>Manifattura e innovazione: questo obiettivo promuove l'innovazione di filiera e l'imprenditorialità, il sostegno alle start-up innovative, la promozione dell'economia circolare sviluppando l'eco-design, la filiera corta e integrata, l'uso razionale delle scorte, la riduzione degli sprechi e delle inefficienze, la trasformazione dei rifiuti in materie prime e secondarie</p> |
| SDG | 8,9,11 | 8,9,11,12 | 1,3,9,11,12,13,15 |
| Ambito di miglioramento | Governance | Governance | Governance |
| Obiettivo Generale di miglioramento | Integrazione di funzionalità e procedure, facilitando la vita degli imprenditori e l'avvio delle imprese e aumentando la gamma di servizi offerti agli utenti finali: imprese e start-up. | Migliorare il supporto offerto alle nuove imprese sostenibili. Sensibilizzare l'opinione pubblica. | Migliorare l'impegno degli enti locali nel supporto alla diffusione dell'economia circolare, a partire dai mercati locali |
| Azioni | <p>1 - Attività di formazione, accompagnamento e supporto ai responsabili dei SUAP metropolitani, finalizzate a promuovere la gestione di servizi di qualità in termini di integrazione delle piattaforme e di armonizzazione delle procedure.</p> <p>2 - Comunicazione e capacity building per il Crowdfunding Hub e la rete territoriale di Progetti d'impresa, con l'obiettivo di promuovere l'accesso a servizi di finanza innovativa e alternativa per giovani imprenditori e start-up, sulla base di partnership tra attori locali.</p> | <p>1 - Sostegno alle richieste di finanziamento per progetti aziendali sostenibili, in particolare attraverso all'inclusione nel Premio Barresi di alcuni miglioramenti, al fine di aumentare il numero di partecipanti al concorso e, attraverso di esso, aumentare il numero di contatti tra i servizi di supporto e le start-up.</p> <p>2 - Strategia di comunicazione per sensibilizzare l'opinione pubblica sulla Green Economy, sulle start-up verdi e sulle loro esigenze.</p> | <p>1 - Definizione di linee guida per la gestione circolare dei Mercati Locali. In questo modo si opererà su due livelli, promuovendo pratiche di CE all'interno dei processi di vendita, e dall'altro la promozione dell'economia circolare presso i produttori e i consumatori.</p> |

Tab. 2 – Schema sintetico dei piani di azione dei progetti Start-Easy, Gress e Since-AFC

3. Conclusioni

Attraverso alcuni progetti Interreg Europe, la Città metropolitana di Bologna ha sviluppato piani di azione locali e ha costruito reti per migliorare i propri strumenti di policy e meglio supportare le imprese, in particolare piccole e micro, nella transizione verso l'economia circolare e meglio raggiungere gli obiettivi delineati nel PSM 2.0. Il progetto SINCE-AFC in particolare ha lavorato per il settore agro-alimentare, dedicando approfondimenti all'area appenninica e ai mercati locali. SINCE-AFC mira ad apportare risorse (ad es. conoscenze, reti e strumenti) attraverso il corretto sostegno di organizzazioni e associazioni di PMI, così che possano iniziare a beneficiare dei vantaggi dell'economia circolare, tra cui: riduzione dei costi, nuovi e maggiori flussi di entrate, migliori prestazioni ambientali. I progetti GRESS e START-EASY si sono focalizzati invece sul supporto e potenziamento dei servizi all'avvio di nuovi progetti imprenditoriali che trovano nell'economia green e circolare interessanti opportunità di business, con ricadute positive anche su ambiente e società.

Con uno sguardo non solo al traguardo temporale dei piani di azione, ma allargando l'orizzonte, è maturata la consapevolezza che per favorire la diffusione dell'economia circolare e verde occorre agire su più fronti. Sicuramente quello delle imprese è molto importante. Tra gli indirizzi da perseguire nel prossimo futuro, c'è sicuramente il rafforzamento della partecipazione degli attori istituzionali ed economici, interessati nello sviluppo di sinergie e nella costruzione di un ambiente quanto più favorevole alla diffusione di esperienze di economia circolare e investimenti green. Occorrerà inoltre lavorare per migliorare la qualità e la quantità dei programmi di supporto alla nascita e accelerazione di imprenditorialità sostenibile e circolare in particolare, stimolare il mercato attraverso gli acquisti pubblici cercando di attrarre più piccole imprese. Un'altra direzione di lavoro riguarda il miglioramento dell'accesso delle piccole imprese al capitale di rischio, aumentare il numero di start-up e spin-off competitivi, migliorandone la sopravvivenza. Parallelamente occorrerà rendere le città e i territori più attraenti per i giovani imprenditori.

Le politiche di crescita sostenibile dovrebbero incoraggiare l'innovazione, in quanto questa può migliorare l'efficienza nell'uso del capitale naturale e promuovere nuove opportunità economiche dall'emergere di nuove attività verdi e circolari.

In secondo luogo, il mercato dei beni e dei servizi ambientali è in rapida crescita; un vantaggio comparativo in questi mercati può quindi essere un'importante fonte di crescita economica.

Bibliografia

- [1] Green New Deal https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- [2] Cavallo M., Cencioni D. (ed.), *Circular economy, benefits and good practices*, Milano, Edizioni Ambiente, 2017
- [3] Servizio Studi e Statistica Città metropolitana e dell'Ufficio di Statistica del Comune di Bologna, *Atlante metropolitano*, 2021 <http://inumeridibolognametropolitana.it/>
- [4] Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura di Bologna. Ufficio Statistica-Studi, *Le imprese nell'area metropolitana di Bologna Anno 2020*, 2021 <https://www.bo.camcom.gov.it/sites/default/files/statistica-e-studi/imprese-totale/ImpBO20.pdf>
- [5] Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura di Bologna. Ufficio Statistica-Studi, *A Bologna riparte la voglia di fare impresa*, 2021 <https://www.bo.camcom.gov.it/blog/bologna-riparte-la-voglia-di-fare-impresa>
- [6] Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura di Bologna. Ufficio Statistica-Studi, *Le start-up innovative. Dati Italia, Emilia-Romagna, Bologna e Città Metropolitane. Anno 2020*, 2021 <https://www.bo.camcom.gov.it/sites/default/files/statistica-e-studi/startup/StartupBO2020.pdf>
- [7] Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura di Bologna. Ufficio Statistica-Studi, *I numeri dell'inizio della ripresa*, 2021 <https://www.bo.camcom.gov.it/blog/bologna-i-numeri-dell%E2%80%99inizio-della-ripresa>

- [8] **Città Metropolitana di Bologna**, *Piano Strategico Metropolitano di Bologna 2.0*, 2018 https://psm.bologna.it/Engine/RAServeFile.php/f/documenti/Relazione_PSM_2.0.pdf
- [9] **Città Metropolitana di Bologna**, *L'agenda 2.0 per lo sviluppo sostenibile della Città metropolitana di Bologna*. Quaderni dell'ASVIS 3, 2021 https://www.cittametropolitana.bo.it/agenda_sviluppo_sostenibile/Home_Page/Agenda_in_evidenza
- [10] **Città Metropolitana di Bologna**, *Patto metropolitano per il lavoro e lo sviluppo sostenibile*, 2021 https://www.cittametropolitana.bo.it/portale/Patto_metropolitano_lavoro_sviluppo_sostenibile
- [11] **Cavallo M., Culver J.K., Rau C.**, *Green Economy Policies. Where we are. Baseline Study in the Gress project partner regions*. Franco Angeli, 2022
- [12] **Cavallo M.**, *The Enchantment of the Territories and the Circular Economy in Agri-Food Starting from a European Experience*, In "Ecomondo. The Green Technology Expo", Santarcangelo di Romagna, Maggioli, 2020
- [13] **Stacchini V.**, *SMEs and Industrial Symbiosis in Europe: Good Practices from CESME and Since-AFC*, In "Symbiosis Users Network - SUN Proceedings of the third SUN Conference. Best practices on industrial symbiosis in Italy and the contribution of regional policies - Rimini, November 7th 2019", ENEA, 2020
- [14] **Cavallo M.**, *Local Farming and High Quality Products Direct Sales in the Circular Economy Applications Framework*, In "Ecomondo. The Green Technology Expo", Santarcangelo di Romagna, Maggioli p. 11-16, 2021
- [15] **Cavallo M.**, *Valorizzare le filiere locali per ridurre l'impatto ecologico e il cambiamento climatico*, In "Ecomondo. The Green Technology Expo", Santarcangelo di Romagna, Maggioli, p. 228-233, 2021
- [16] **Cavallo M., Ferraro S.**, *The future of e-governance between AI and big data: information brokers and navigators for the digital world in "International Journal of Open Governments" Vol. 10-2021 p.13-33, 2021*
- [17] **Città Metropolitana di Bologna**, *START-EASY. Action Plan for the Metropolitan city of Bologna*, 2022
- [18] **Città Metropolitana di Bologna**, *SINCE-AFC. Action Plan for the Metropolitan city of Bologna*, 2022
- [19] **Città Metropolitana di Bologna**, *GRESS. Action Plan for the Metropolitan city of Bologna*, 2022

Il ruolo del green public procurement per favorire il riciclo e il recupero

*Alessandra Mascioli, alessandra.mascioli@cnr.it, Cristina Peretti, cristina.peretti@cnr.it
CNR – Istituto Inquinamento Atmosferico, Roma*

Riassunto

L'articolo evidenzia il ruolo che può svolgere la pubblica amministrazione nella transizione verso un modello economico di tipo circolare stimolando l'innovazione tecnologica e gestionale del sistema produttivo anche attraverso la diffusione di strumenti operativi di gestione dei flussi di materia, e in parte dell'energia, tramite gli appalti pubblici, destinati a erogare specifici servizi, a realizzare determinate opere pubbliche o a soddisfare alcune esigenze di funzionamento, in attuazione del quadro normativo e tecnico disciplinato dall'articolo 34 del decreto legislativo 18 aprile 2006, n. 50 recante "Codice dei contratti pubblici" che ha stabilito l'introduzione obbligatoria nella documentazione progettuale e di gara dei Criteri Ambientali Minimi (CAM).

Dopo un breve inquadramento giuridico, gli autori illustrano in che modo specifici criteri ambientali presenti nei CAM favoriscono lo sviluppo e la diffusione di tali strumenti operativi, indicando quali azioni di tipo organizzativo e gestionale comportano a livello aziendale. L'articolo, inoltre, menziona anche i CAM per la raccolta e il trasporto dei rifiuti urbani adottato con decreto del Ministro della transizione ecologica 23 giugno 2022, in quanto darà anch'esso un impulso alla diffusione di specifici modelli operativi e valutativi per la gestione della materia in ottica di economia circolare, determinando una coerenza complessiva della strategia in materia di appalti pubblici mirata a favorire il riciclo e il recupero della materia.

Summary

The paper highlights the role that public administrations can play in the transition towards a circular economic model by stimulating technological and management innovation of the production system and disseminating operational tools to manage material, and partially energy, flows through public procurement, to supply specific goods and services or satisfy certain operating needs, as regulated by national legislation on minimum environmental criteria (MEC) and Green Public Procurement.

After a brief legal framework, the authors illustrate how specific environmental criteria included in MECs support the development and dissemination of operational tools aimed at improving sustainability and preventing waste, pointing out which organizational and managerial actions are involved at company level.

The article also comments the recently adopted minimum environmental criteria for the collection and transport of urban waste as these will give an impulse to the dissemination of circular models for the management of materials thus determining an overall coherence of the public procurement strategy aimed at preferring recycling and recovery of materials.

1. Introduzione

I consumi della pubblica amministrazione costituiscono una quota consistente del mercato. Nel 2020 la spesa delle amministrazioni pubbliche per opere, beni e servizi rappresentava circa il 14,9% del PIL dell'UE, l'11,8% del PIL per l'Italia [1].

Gli appalti pubblici sono definiti come «uno strumento strategico a disposizione della politica economica [...] e possono stimolare la domanda per aumentare la competitività basata sull'innovazione e sulla digitalizzazione, come sottolineato nella comunicazione sull'industria [2]. Possono anche sostenere la transizione verso un'economia circolare efficiente sotto il profilo energetico e delle risorse [3], e promuovere uno sviluppo economico sostenibile e società più eque e inclusive».

Il livello di diffusione degli appalti pubblici verdi è uno dei dieci indicatori del quadro di monitoraggio della Commissione europea che sono stati selezionati al fine di rappresentare gli elementi principali di un'economia circolare. Tra gli interventi normativi e finanziari a sostegno della transizione verso un modello di economia sostenibile e circolare, a livello nazionale va menzionato il *Piano d'azione nazionale per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della pubblica amministrazione* approvato nel 2008 in attuazione dell'art. 1, comma 1126 della legge 27 dicembre 2006 n. 296, nell'ambito del quale è prevista l'adozione dei "Criteri Ambientali Minimi" (CAM). I CAM sono requisiti ambientali basati sull'approccio del ciclo di vita correlati alle diverse fasi della procedura d'appalto (oggetto dell'appalto, selezione degli offerenti, specifiche tecniche, criteri premianti, clausole contrattuali), adottati con Decreto del Ministro della Transizione Ecologica, che devono essere introdotti obbligatoriamente secondo specifiche modalità, nella documentazione progettuale e di gara relativa alle categorie di forniture e di affidamenti di servizi e lavori di cui sono oggetto. (**Tab. 1 – Categorie di appalto oggetto dei CAM**). Attraverso l'obbligo disciplinato dal vigente codice dei contratti pubblici, si orientano e si valorizzano in maniera omogenea e strutturale le innovazioni ambientali dei mercati di riferimento e delle relative filiere e si determina un effetto leva più efficace. Le categorie di beni, servizi e lavori oggetto dei CAM, sottoposti a revisioni ed aggiornamenti periodici precipuamente per tener conto dell'evoluzione tecnica e tecnologica nei settori coinvolti, sono sempre più numerose. Una quota sempre più rilevante in valore dei contratti pubblici, che complessivamente nei settori ordinari e al netto degli affidamenti diretti per il 2021 ammonta a 132 miliardi di euro, deve essere erogata sulla base della conformità a detti CAM [4].

| | In vigore | In via di definizione/ aggiornamento |
|--|--------------------|--------------------------------------|
| Arredi per l'interno | DM 23/06/2022 | |
| Arredo urbano | DM 5/02/2015 | x |
| Arredi esterni | In via di adozione | |
| Apparecchiature multifunzione, servizio di stampa gestito | DM 17/10/2019 | |
| Personal computer, desktop e monitor, server | | x |
| Cartucce di toner e a getto di inchiostro, servizio integrato di ritiro e fornitura di cartucce rigenerate | DM 17/10/2019 | |
| Servizio di progettazione ed affidamento di lavori per interventi edilizi | DM 23/06/2022 | |
| Progettazione costruzione manutenzione di strade | In via di adozione | |
| Prodotti tessili | DM 30/06/2021 | x |
| Servizi di lavanolo | DM 9/12/2020 | |

Segue

| | In vigore | In via di definizione/ aggiornamento |
|---|---------------|--------------------------------------|
| Servizi di pulizia in ambienti ad uso civile | DM 29/01/2021 | |
| Servizi di pulizia e sanificazione ambienti uso sanitario | DM 29/01/2021 | |
| Detergenti per superfici dure | DM 29/01/2021 | |
| Detergenti per lavaggio industriale dei tessuti | DM 9/12/2020 | |
| Detergenti per l'igiene della persona | DM 29/01/2021 | |
| Servizio di gestione dei rifiuti urbani | DM 23/06/2022 | |
| Servizio di gestione del verde pubblico | DM 10/03/2020 | |
| Acquisto di ammendanti, piante ornamentali, impianti di irrigazione | DM 10/03/2020 | |
| Veicoli adibiti al trasporto su strada | DM 17/06/2021 | |
| Lubrificanti per veicoli | DM 17/06/2021 | |
| Servizio di trasporto collettivo di persone, car sharing, | | x |
| Carta per stampa e copia | DM 4/04/2013 | |
| Ausili per l'incontinenza | DM 24/12/2015 | |
| Prodotti in carta tessuto per l'igiene della persona | DM 29/01/2021 | |
| Progettazione ed installazione di impianti per l'illuminazione pubblica | DM 27/09/2017 | |
| Servizi di illuminazione pubblica | DM 28/03/2018 | |
| Servizi energetici per gli edifici | DM 7/03/2012 | x |
| Lampade e apparati per l'illuminazione pubblica | DM 27/09/2017 | |
| Servizio di ristorazione collettiva e acquisto di derrate alimentari | DM 10/03/2020 | |
| Servizio di distribuzione automatica di alimenti e bevande e servizio ristoro | | x |
| Organizzazione e gestione di eventi | | x |
| Acquisizione natanti* | | x |
| Servizio di derattizzazione e disinfestazione* | | x |

*Non è ancora stato istituito il tavolo di lavoro

Tab. 1 – *Categorie di appalto oggetto dei CAM (Stato dell'arte settembre 2022)*Fonte: Sito del Ministero della transizione ecologica.

2. Relazione

La disciplina nazionale in materia di appalti pubblici verdi, correlata ai criteri ambientali minimi, consente di diffondere e implementare strumenti operativi e di valutazione per la gestione dei flussi di materia e, in misura minore a tutt'oggi, dell'energia in ottica di economia circolare. Tale fonte tecnico-giuridica è tanto più efficace, anche al fine di favorire il recupero e il riciclo della materia, quanto più ne venga data una adeguata e completa attuazione da parte delle stazioni appaltanti. Nel presente capitolo viene illustrato, nei settori oggetto dell'analisi, il modo in cui i CAM intervengono a tale riguardo.

2.1 Le categorie di appalto regolamentate dai CAM in ottica di promuovere l'innovazione gestionale a livello aziendale finalizzata al riciclo della materia

Sin dalla stesura dei primi documenti recanti criteri ambientali minimi, si è inteso determinare un ruolo di indirizzo rilevante per promuovere, presso i comparti produttivi interessati dai CAM, sistemi operativi e di valutazione per la gestione finalizzata ad un uso efficiente principalmente della materia, più marginalmente, dell'energia e alla chiusura dei relativi cicli. Sulla scia della *ratio* del decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio 8 maggio 2003, n. 203 «Norme affinché gli uffici pubblici e le società a prevalente capitale pubblico coprano il fabbisogno annuale di manufatti e beni con una quota di prodotti ottenuti da materiale riciclato nella misura non inferiore al 30% del fabbisogno medesimo», nei CAM, via via che si palesavano le adeguate condizioni tecniche e di mercato nei settori merceologici di riferimento, sono stati introdotti requisiti minimi sul contenuto di riciclato e, a seguire per le medesime ragioni, di sottoprodotto. Questi criteri, dal momento che sarebbero diventati dirimenti per l'aggiudicazione delle gare pubbliche, hanno determinato la necessità di sviluppare sistemi di verifica affidabili, per ridurre i rischi di contenzioso e di comportamenti fraudolenti. Tali sistemi di verifica comportano l'attuazione di un approccio gestionale e procedurale specifico da parte delle aziende, mirato, appunto, alla gestione dei flussi di materia in ottica di economia circolare.

Inoltre, con un recente decreto del Ministro della transizione ecologica 23 giugno 2022 sono stati adottati i criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di raccolta e trasporto dei rifiuti urbani. Ebbene questi CAM, a differenza dei CAM di pari oggetto adottati nel 2013, renderanno strutturale presso i gestori di tali servizi, l'attuazione di modalità operative, gestionali e valutative delle diverse frazioni di materiali raccolte, al fine di costituire la base di informazioni e dati funzionali a comprendere se per massimizzare la qualità e la quantità delle diverse frazioni di rifiuti raccolte, siano necessari interventi correttivi e quali tipologie di azioni migliorative dover attuare. Con questi CAM, dunque, si è migliorata ulteriormente la sinergia fra le diverse disposizioni tecniche e dovrebbe risultare più efficiente la chiusura dei cicli di materia anche nell'ambito della dimensione macroeconomica.

Le innovazioni gestionali che si determinano a livello aziendale, dunque, sono promosse da tutti quei CAM che prevedono per i beni acquistati dalla pubblica amministrazione un contenuto minimo di materiale riciclato e/o di sottoprodotto, anche quello "derivante da simbiosi industriale" valorizzato nei CAM relativi ai prodotti tessili per precipue motivazioni tecniche [5].

Tali fattispecie di criteri ambientali presuppongono che le aziende interessate ad accedere alle forniture pubbliche modifichino, o abbiano modificato, i loro bacini di approvvigionamento, rivolgendosi ad altre aziende o rami aziendali per acquisire sottoprodotto "derivante da simbiosi industriale" e/o alle piattaforme per il recupero e il riciclo, per acquisire materia prima seconda che entri nel computo del contenuto di riciclato, al fine di realizzare dunque un prodotto o un componente con uno specifico contenuto di riciclato o sottoprodotto "derivante da simbiosi industriale". Altresì sono valorizzate le aziende che abbiano la capacità di reimmettere i propri scarti di lavorazione nel ciclo produttivo successivo per fabbricare un prodotto o un componente, in tutte le altre categorie di prodotti in cui è valorizzato il sottoprodotto senza specifiche distinzioni. Tali aziende devono essersi conseguentemente dotate di sistemi operativi e gestionali per implementare tali pratiche produttive e devono attuare procedure gestionali e valutative che possano garantire che tali requisiti siano costantemente soddisfatti e affidabilmente comunicati e verificati, anche attraverso audit esterni da parte degli organismi di valutazione di conformità con le specifiche competenze, da considerarsi sulla base del possesso di specifici accreditamenti.

Per verificare la conformità a questa fattispecie di criteri, infatti, i criteri ambientali minimi

fanno riferimento a certificazioni di prodotto quali “ReMade in Italy®”, Platica Seconda Vita, Global Recycled Standard, Recycled Claim Standard, nonché, più genericamente, ad altre certificazioni di prodotto basate sulla prassi UNI/PdR 88 “Requisiti di verifica del contenuto di riciclato e/o recuperato e/o sottoprodotto”, che definisce i requisiti metodologici, gestionali e procedurali per rilasciare certificazioni di prodotto equivalenti a quelle citate, basate pertanto sulla tracciabilità dei materiali ed il bilancio di massa e verificate da un organismo di valutazione della conformità accreditato a norma del regolamento (UE) n. 765/2008 del Parlamento europeo e del Consiglio.

Tali fattispecie di schemi di certificazioni presuppongono che l’azienda abbia implementato un piano di tracciabilità delle materie e dei flussi all’interno del processo produttivo, che controlli sistematicamente i fornitori, che classifichi le materie in ingresso e che assicuri la massima trasparenza sulla documentazione rilevante nonché su ogni elemento che possa dimostrare l’adeguata gestione del processo e l’attuazione di tutti i passaggi tecnico-gestionali rilevanti. Queste certificazioni prevedono la presenza di un sistema documentale formalizzato in base alle caratteristiche tecniche del prodotto, l’attuazione di un piano di controllo della produzione e dei prodotti e un sistema di verifiche interne, anche volto a controllare il quantitativo di materiale riciclato e/o di sottoprodotto immesso nel ciclo produttivo in modo di poter effettuare un bilancio di massa, garantendo la tracciabilità del prodotto marchiato nonché dei materiali con i quali è costituito. Tutti i diversi elementi utili a calcolare il bilancio di massa sono oggetto di verifiche da parte degli organismi di certificazione accreditati. Tali verifiche sono anche di tipo documentale e vengono svolte presso l’azienda stessa, da detti organismi, che hanno ricevuto l’accreditamento specifico sul disciplinare che regola il funzionamento degli schemi di certificazione sopra citati, o equivalenti o accreditati in base alla citata prassi UNI/PdR 88 «Requisiti di verifica del contenuto di riciclato e/o recuperato e/o sottoprodotto».

Detti criteri ambientali, che promuovono l’uso efficiente della materia, diffondono specifiche pratiche di simbiosi industriale, tutelano la competitività, riducendo la dipendenza dalle materie prime e sono quindi strategici per aumentare la resilienza del sistema economico-produttivo rendendolo perciò più capace di assorbire gli scompensi esogeni.

Un contenuto minimo di riciclato e/o sottoprodotto è stato previsto per: i materiali per le costruzioni edili, dai primi CAM adottati nel 2017 (prodotti in calcestruzzo preconfezionati, prefabbricati e confezionati in cantiere; l’acciaio, i laterizi, i prodotti legnosi, gli isolanti termoacustici); gli articoli di arredo urbano in gomma, in plastica, in miscele di gomma-plastica, plastica-legno; le macchine per eseguire le pulizie professionali, le attrezzature, tra cui secchi e contenitori in plastica per le pulizie manuali: gli imballaggi dei detersivi e dei lubrificanti per veicoli adibiti al trasporto su strada; i sacchetti, i cassonetti e gli altri contenitori per la raccolta dei rifiuti, le compostiere, e i secchielli sottolavello in plastica; i componenti realizzati in materiale termoplastico, i rivestimenti interni e le relative imbottiture degli autoveicoli nei criteri premianti dei CAM per l’acquisto, il noleggio, il leasing di veicoli adibiti al trasporto su strada; i prodotti tessili, nei criteri premianti; gli arredi per interni in legno a arredi per interni in plastica.

Molti di questi criteri ambientali sono utili per spingere il sistema produttivo a innovarsi nella direzione di una maggiore competitività e di una migliore attitudine a soddisfare le disposizioni della futura normativa cogente di derivazione comunitaria, tenuto conto che, nella COM (2019) 640, *Il Green Deal europeo*, la Commissione europea, quali indicazioni per ridurre i rifiuti, menziona il rafforzamento delle catene del valore per creare un mercato solido e integrato delle materie riciclate e dei sottoprodotti nonché l’introduzione di un contenuto di riciclato obbligatorio, ad esempio nei veicoli, nelle batterie, negli imballaggi, nei materiali da costruzione e l’identificazione di un modello europeo per la raccolta differenziata dei rifiuti

che ne eviti l'esportazione e che sia funzionale alla relativa valorizzazione e reimmissione nel sistema economico. Queste linee di indirizzo europee dimostrano ancora una volta che i CAM sono funzionali a orientare correttamente il mercato, anticipando le prescrizioni che discenderanno dalla normativa cogente di derivazione comunitaria.

Da un raffronto fra i diversi paesi membri dell'Unione europea, l'Italia risulta seconda dietro la Germania (67%) nel riciclo degli urbani e seconda dopo la Polonia (75%) per il riciclo degli speciali, con ottime performance nel riciclo degli imballaggi [6].

Il CNR-IIA sta avviando un'indagine che mira a valutare anche se e in quale misura i CAM abbiano contribuito a favorire in Italia lo sviluppo del settore del riciclo, rendendola un esempio virtuoso in tema di riciclo anche nelle frazioni di materiale in cui non vi era una convenienza economica nel far uso di materia proveniente dalle piattaforme di recupero e riciclo.

Per mantenere e migliorare le performance sul tema del riciclo è ovviamente dirimente incrementare il mercato dei materiali riciclati e delle materie prime seconde e quindi continuare ad agire anche attraverso la leva della domanda pubblica e la promozione degli specifici standard di ecodesign delineati dai criteri ambientali minimi.

2.2 Il ruolo dei criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di raccolta e trasporto dei rifiuti urbani per migliorare l'efficienza nelle pratiche di riciclo della materia

I criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di raccolta e trasporto dei rifiuti urbani adottati con decreto del Ministro della transizione ecologica del 23 giugno 2022, favoriscono il riciclo e il recupero operando su due livelli. Da un lato, infatti, supportano, come i CAM definiti per altre categorie merceologiche, il mercato dei materiali riciclati attraverso i criteri relativi alla fornitura di sacchetti e contenitori che prevedono un contenuto minimo di materiale riciclato. I CAM afferenti il servizio di raccolta dei rifiuti urbani, intervengono anche dal lato dell'offerta di materiale riciclato in quanto l'impostazione dei criteri mira essenzialmente a massimizzare la quantità e qualità della raccolta differenziata al fine di incrementare la qualità dei materiali avviati a riciclo.

I diversi criteri ambientali, infatti, mirano a massimizzare la conformità del rifiuto conferito rispetto al contenitore di destinazione e a evitare il peggioramento della qualità della raccolta differenziata di una frazione di rifiuto a causa del conferimento di una frazione estranea. A tal fine, introducono specifici standard qualitativi per le frazioni vetro, plastica, carta e cartone, metalli, rifiuti organici, anche considerando l'organizzazione del sistema di raccolta.

Il provvedimento prevede, inoltre, l'attuazione di un piano di controllo delle diverse frazioni di materiale raccolto, che deve comprendere anche analisi merceologiche a campione sul materiale tal quale prima dell'ingresso negli impianti di selezione o di destinazione delle diverse frazioni merceologiche, nonché delle analisi campionarie sul rifiuto urbano residuo, adottando la metodologia di analisi di ANPA [7]. Eventuali scostamenti dagli standard qualitativi previsti per le differenti frazioni di rifiuto, comportano l'individuazione e l'attuazione di un programma di miglioramento del sistema di raccolta quali ad esempio, l'ottimizzazione della distribuzione dei cassonetti in caso di raccolta stradale, l'aumento della frequenza di raccolta, azioni di comunicazione mirate per le utenze.

Ancora i medesimi CAM dispongono l'attuazione di un sistema operativo di monitoraggio concernente anche le quantità dei rifiuti raccolti, in peso o in volume, dettagliate per tipologia di utenza (per le frazioni misurate in modo puntuale), per frazione (Rifiuto Urbano Residuo e altre frazioni, ivi dunque inclusi tessili, batterie, rifiuti elettrici ed elettronici) e per modalità di raccolta, che includa anche le quantità dei rifiuti ingombranti e i rifiuti raccolti per eventi occasionali e temporanei. Il provvedimento in questione contribuisce a sviluppare e diffondere strumenti operativi per migliorare la gestione dei flussi di materia anche attraverso i criteri premianti.

3. Conclusioni

L'articolo illustra in quale modo la normativa nazionale sugli appalti pubblici verdi tramite i "Criteri ambientali minimi" promuove la diffusione di sistemi operativi e gestionali per il recupero e il riciclo della materia e quali siano i settori coinvolti. Tale normativa dimostra che è possibile affidare alla pubblica amministrazione tramite gli appalti pubblici un ruolo chiave per favorire il corretto sviluppo delle innovazioni, anche di tipo gestionale, orientate ad una sempre più marcata circolarità e compatibilità ambientale, partendo dai settori più strategici e determinanti in termini di impatti ambientali e volume di spesa pubblica e assicurando una coerenza complessiva delle misure da attuare anche per la valorizzazione del ciclo dei rifiuti (Tab. 3 - Circolarità nei CAM, esempi). Risultati potenzialmente molto rilevanti, che richiedono la massima applicazione dei CAM, non solo in capo ai soggetti vincolati al rispetto del codice dei contratti pubblici ma anche in capo ai soggetti non vincolati o vincolati solo in parte al rispetto del codice dei contratti pubblici.

Bibliografia

- [1] OECD National Accounts Statistics (database), dati riferiti al 2020.
- [2] COM (2017) 479 final, *Investire in un'industria intelligente, innovativa e sostenibile Una nuova strategia di politica industriale dell'UE*.
- [3] COM (2014) 398 final/2, *Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti*.
- [4] Autorità Nazionale Anticorruzione, banca dati, rilevazioni 2022.
- [5] **Mascioli A., Mazzotti C., Mari M., Fardelli A.** (2021) I criteri ambientali minimi per promuovere l'uso efficiente delle risorse ed un'economia circolare, Green and circular economy: ricerca, innovazione e nuove opportunità, Maggioli editore, 37-43.
- [6] L'Italia del Riciclo (2021), Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, UNICIRCULAR.
- [7] Analisi merceologica dei rifiuti urbani. Rassegna di metodologie e definizione di una metodica di riferimento, ANPA, RTI CTN_RIF 1/2000.

Il Centro del Riutilizzo in una grande città: il caso Busto Arsizio (VA)

*Giorgio Ghiringhelli, ghiringhelli@arsambiente.it – ARS ambiente Srl, Gallarate (VA)
Gianfranco Carraro, Claudia Colombo, AGESP Spa, Busto Arsizio (VA)*

Riassunto

La gerarchia UE dei rifiuti prevede come opzione preferita la prevenzione dei rifiuti, anche con il riuso. Il riutilizzo ai sensi dell'art. 183 del D.lgs. 152/2006 "qualsiasi operazione attraverso la quale prodotti o componenti che non sono rifiuti sono reimpiegati per la stessa finalità per la quale erano stati concepiti". I "centro di riuso" o "centro del riutilizzo" (CdR) sono definiti come aree attrezzate adiacenti a un centro di raccolta comunale dove vengono intercettati, custoditi e distribuiti (venduti e/o donati) beni usati sottraendoli, come ultima chance, dal flusso dei rifiuti urbani. La città di Busto Arsizio (VA), con i suoi 83.500 abitanti è la 5a città della Lombardia e l'undicesima a livello nazionale, e si caratterizza per l'elevata densità urbanistica e ottime performance della gestione dei rifiuti. Nel 2022 è stato avviato un Centro dei Riutilizzo, finanziato attraverso un bando di regione Lombardia che è andato ad integrare la rete di negozi dell'usato e associazioni attive nel recupero di beni usati. A sei mesi dall'avvio la risposta dei cittadini di Busto A. dall'apertura del CdR è stata ottima permettendo di raccogliere i beni conferiti ed esporli efficacemente, garantendo un turnover adeguato e per la maggior parte dei beni una valorizzazione e quindi una sottrazione dal flusso dei rifiuti.

Summary

The EU waste hierarchy has waste prevention, including reuse, as a preferred option. Reuse pursuant to art. 183 of Legislative Decree. 152/2006 "any operation through which products or components that are not waste are reused for the same purpose for which they were designed". The "reuse center" or "reuse center" (CdR) are defined as equipped areas adjacent to a municipal collection center where used goods are intercepted, stored and distributed (sold and / or donated), subtracting them, as a last chance, from the urban waste flow. The city of Busto Arsizio (VA), with its 83,500 inhabitants is the 5th city in Lombardy and the 11th at national level, and is characterized by its high urban density and excellent waste management performance. In 2022, a Reuse Center was launched, financed through a tender from the Lombardy region which integrated the network of second-hand shops and associations active in the recovery of used goods. Six months after the start, the response of the citizens of Busto A. from the opening of the CdR was excellent, allowing them to collect the goods conferred and display them effectively, guaranteeing an adequate turnover and for most of the goods an enhancement and therefore a subtraction from the waste stream.

1. Introduzione

La normativa comunitaria vigente in materia di gestione dei rifiuti è la direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio UE n. 2008/98/CE del 19 novembre 2008. Il 14 giugno 2018 è stato pubblicato sulla Gazzetta ufficiale dell'Unione europea il cosiddetto "Pacchetto per l'Economia Circolare" costituito da quattro direttive [1], in vigore dal 4 luglio 2018; esse fan-

no parte di una più ampia strategia europea che mira a realizzare un profondo cambiamento dei modelli di produzione e di consumo, secondo la nuova ottica della Economia Circolare con l'obiettivo di ridurre il prelievo di risorse naturali, aumentare l'efficienza nell'uso delle risorse e rendere più competitivo e sostenibile lo sviluppo economico del sistema. Il concetto cardine attorno al quale si sviluppa la normativa comunitaria sui rifiuti è la gerarchia dei rifiuti [2], definita quale ordine di priorità della normativa e della politica in materia di prevenzione e gestione dei rifiuti.



Fig. 1 – Gerarchia dei rifiuti UE [2]

Essa è caratterizzata dalle fasi rappresentate in figura 1:

- prevenzione (fuori dalla normativa rifiuti);
- preparazione per il riutilizzo;
- riciclaggio;
- recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia;
- smaltimento.

La gerarchia dei rifiuti si può rappresentare con una piramide rovesciata che conduce dalla scelta migliore a quella peggiore: all'apice è posta la prevenzione della produzione dei rifiuti, perseguibile sia intervenendo “a monte” nella progettazione dei beni e degli imballaggi (cosiddetto ecodesign), ottimizzando i processi produttivi e nonché a valle favorendo il riuso o riutilizzo.

2. Il riutilizzo

Il riutilizzo ai sensi dell'art. 183 del D.lgs. 152/2006 “*qualsiasi operazione attraverso la quale prodotti o componenti che non sono rifiuti sono reimpiegati per la stessa finalità per la quale erano stati concepiti*”. Tutti i beni durevoli, finito un primo ciclo di consumo, possono potenzialmente essere avviati a un nuovo ciclo di consumo sempre e quando il loro deterioramento non ne abbia compromesso definitivamente la funzione d'uso. Il termine di un primo ciclo di consumo non corrisponde infatti necessariamente all'obsolescenza degli oggetti. A determinare o meno lo status di rifiuto di un bene durevole non sono né il livello di conservazione né la merceologia del bene durevole, ma bensì l'eventuale intenzione di disfarsene

di chi ha terminato il ciclo di consumo (sempre l'art. 183 del D.lgs. n.152/06 definisce rifiuto "qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi"): un medesimo bene quindi, al termine di un ciclo di consumo, diventa rifiuto se esiste tale intenzione oppure mantiene il suo status di bene se viene ceduto con un'intenzione di segno diverso Sia i flussi di prevenzione/riutilizzo che quelli di rifiuti preparabili per il riutilizzo, sono in massima parte originati dalla rotazione del consumo di beni durevoli e dalla necessità dei cittadini di liberarsi o trovare nuova destinazione ai beni eccedenti o arrivati a fine vita. L'avvio di tale flusso a un canale piuttosto che a un altro dipende dalle numerose variabili che orientano il comportamento del cittadino, tra le quali quelle che rivestono maggior rilevanza sono:

- la legge del minor sforzo;
- il costo opportunità;
- i costi di transazione in avanti.

Paradossalmente, e al contrario di quanto a volte si pensi, il flusso dei rifiuti è ricco di frazioni pregiate perché derivante da conferitori con maggiore reddito e maggiore costo opportunità [3]. Le analisi compiute nel quadro del progetto Life + PRISCA [4] sui flussi di beni durevoli raccolti come rifiuti urbani, mostrano che circa il 50% del flusso disponibile per essere preparato per il riutilizzo e reimmesso in circolazione avrebbe bisogno di interventi di riparazione/restauro/ricondizionamento, ma solo una quota molto minore (composta soprattutto dai "grandi bianchi") gode di prezzi di mercato che possano realmente coprire il costo tali operazioni; il restante 50% di ciò che può essere preparato per il riutilizzo, di contro, è in perfetto stato e potrebbe essere reimmesso in circolazione a fronte di mere operazioni di selezione e controllo (e igienizzazione quando necessaria). Occhio del Riciclone [5] ha stimato che il settore del riutilizzo, distribuisce ogni anno circa 500.000 tonnellate di beni svolgendo un'attività classificabile come prevenzione dei rifiuti su un totale di oltre 1 milione di tonnellate di rifiuti da beni durevoli preparabili per il riutilizzo senza interventi di riparazione/ricondizionamento/restauro, con un fatturato globale di circa 2 miliardi di Euro annui e un impiego di circa 100.000 addetti (escludendo le attività specializzate in merci antiche o pregiate, l'online e le automobili usate e autoricambi) [6]. I 4 principali macro-segmenti di destino dei beni durevoli usati per il loro recupero sono quindi:

- negozi dell'usato conto terzi (usatecche);
- piattaforme on-line di vendita e scambio dell'usato;
- operatori degli indumenti usati;
- ambulanti dell'usato;
- Centri del Riuso o del Riutilizzo.

2.1 I Centri del Riutilizzo

I "centro di riuso" o "centro del riutilizzo" (CdR) sono definiti come aree attrezzate adiacenti a un centro di raccolta comunale dove vengono intercettati, custoditi e distribuiti (venduti e/o donati) beni usati sottraendoli, come ultima *chance*, dal flusso dei rifiuti urbani. L'obiettivo principale dei centri di riuso è la riduzione dei rifiuti o la preparazione al riutilizzo dei rifiuti, al fine di ridurre i volumi di materiali post-consumo smaltiti, ma anche essere strumenti per favorire l'occupazione, l'integrazione sociale e la solidarietà.

- Tipicamente i beni raccolti nei CdR sono:
- mobili ed elementi di arredo (ad es. letti, sedie, reti e materassi, specchi, lampadari, divani);
- elettrodomestici (ad es. lavatrici, ferri da stiro, computer, consolle per videogiochi, televisori, asciugacapelli, telefoni, trapani, impianti stereo);
- vestiario (ad es. maglioni, giacche, scarpe, borse, collane, vestiario per sport);
- pubblicazioni (ad es. libri, DVD, CD, videogiochi, dischi, solo se originali);

- utensili non elettrici per lavori casalinghi e da giardino (ad es. martelli, pinze, vanghe, rastrelli);
- oggetti per sport e svago (ad es. biciclette, giocattoli non elettronici, giochi da tavolo, attrezzatura sportiva);
- stoviglie e suppellettili (ad es. piatti, posate, bottiglie, padelle);
- altro (ad es. passeggini e carrozzine, stampe).

I CdR sono normati dall'art. 181 del D.lgs 152/2006 così come modificato dal D.lgs. 116/2020 in recepimento del direttive UE del "Pacchetto Economia Circolare", che prevede che gli enti di governo d'ambito territoriale ovvero i Comuni possano individuare "appositi spazi presso i centri di raccolta [...] per l'esposizione temporanea finalizzata allo scambio tra privati di beni usati e funzionanti direttamente idonei al riutilizzo", prevedendo anche "apposite aree" adibite alla preparazione al riutilizzo e al riutilizzo, anche "nel quadro di operazioni di intercettazione e schemi di filiera degli operatori professionali dell'usato", ammettendo, quindi, forme di integrazione tra i vari attori della filiera necessarie a fare rete, principalmente in un'ottica di mercato, non solo no-profit [7].

I dati 2021 elaborati da ISPRA permettono di verificare, su un campione di 325 Comuni italiani che il 24% ospita mercatini dell'usato/punti di scambio e/o centri di riuso, che il 9% dispone presso i centri di raccolta di rifiuti urbani di "apposite aree per la raccolta, da parte del comune, di beni riutilizzabili o da destinare al riutilizzo attraverso operatori professionali dell'usato" e l'1% del campione è "dotato di centri di raccolta nei quali sono previsti appositi spazi finalizzati allo scambio tra privati di beni usati e funzionanti direttamente idonei al riutilizzo".

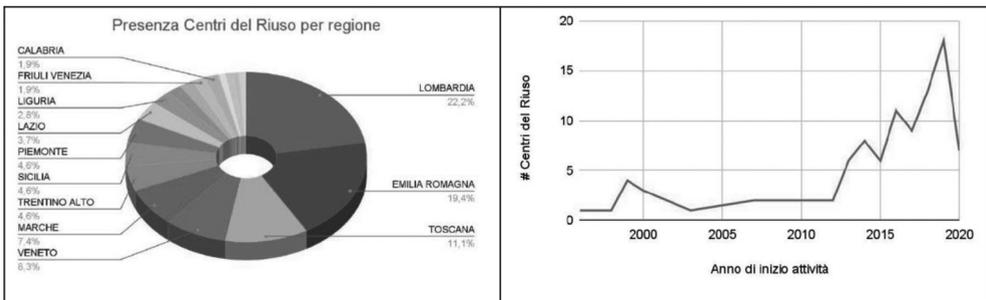


Fig. 2 – Distribuzione geografica dei Centri del Riutilizzo e date di apertura (Bertinelli e Boni 2021)

Come evidenziato in figura 2 quasi la metà degli 85 dei centri del riuso che, ad oggi, hanno risposto si trovano in Lombardia (26%) ed Emilia Romagna (20,8%), mentre le altre regioni più rappresentate sono Marche, Veneto e Toscana [8].

2.2 Il Centro del Riutilizzo di Busto Arsizio (VA)

La città di Busto Arsizio (VA), con i suoi oltre 83.500 abitanti è la 5a città della Lombardia e l'11a a livello nazionale, e si caratterizza per l'elevata densità urbanistica (2 724,46 ab./km²). Dagli anni '90 è attivo un sistema di raccolta porta a porta secco-umido interamente a sacchi, affidato in house alla società pubblica AGESP Spa che ha permesso di raggiungere buoni risultati quali-quantitativi (%RD 72,1%, totale RU 420,7 kg/abitante.anno e RUR pari a 117,4 kg/abitante.anno, dati 2016) [9]. In città sono presenti tre negozi dell'usato e alcune associazioni onlus che ritirano beni usati per beneficenza.

Il Comune di Busto Arsizio ha partecipato nel 2018 ad un Bando di Regione Lombardia per il finanziamento di CdR con un progetto realizzato da AGESP Spa con il supporto di ARS ambiente Srl: il progetto è arrivato 2° assoluto in graduatoria ed ha permesso l'ottenimento

di un finanziamento a fondo perduto di 70.000 Euro per la realizzazione e l'allestimento del CdR. Esso è stato realizzato in area contigua al Centro di Raccolta Comunale sfruttando una tensostruttura dismessa dal Comune che è stata collocata nell'area e rifunzionalizzata.



Fig. 3 – Immagini del Centro dei Riutilizzo di Busto Arsizio (esterno e deposito interno)

Il CdR, visibile dall'esterno e dall'interno in figura 3, è stato inaugurato il 7 febbraio 2022 e prevede la registrazione e pesatura dei beni in ingresso (donati) e uscita (venduti e/o donati) con un software dedicato (con funzione anche di vetrina web) secondo la seguente sequenza logica:

- il proprietario consegna l'oggetto al Centro del Riutilizzo e l'addetto pone l'etichetta pre-stampata per identificare univocamente l'oggetto con un codice;
- il proprietario sottoscrive una liberatoria di donazione prestampata;
- l'operatore registra informaticamente il codice e associa una fotografia dell'oggetto;
- l'operatore pesa l'oggetto e attribuisce una serie di proprietà allo stesso (nominativo donatore, peso, prezzo stimato, dimensioni indicative, categoria di magazzino, etc.);
- l'operatore colloca l'oggetto nell'apposita sezione di destino.
- Mentre la donazione di oggetti può essere effettuata solo da cittadini residenti il ritiro è aperto a tutti e prevede il pagamento di un prezzo "politico" stabilito per fasce di beni:
 - da 1 a 5 Euro per piccoli oggetti;
 - da 5 a 10 Euro per beni medi e vestiti;
 - da 10 a 20 Euro per beni ingombranti (mobili, etc.).

Gli oggetti donati e non venduti entro un mese sono donati ad associazioni e onlus del territorio e solo i beni che non trovano alcun destino secondo questa logica vengono destinati al Centro di Raccolta. Nei primi 6 mesi di attività il CdR ha ricevuto 1.647 oggetti donati, incassato 5.800 Euro vendendo 811 oggetti, donandone a sua volta 101 e destinandone al Centro di Raccolta solo 514, con una sottrazione allo smaltimento di 3.246 kg di beni. Le principali categorie di beni gestite, rappresentate in figura 4, sono vestiario, accessori per bambini giocattoli e libri/pubblicazioni.

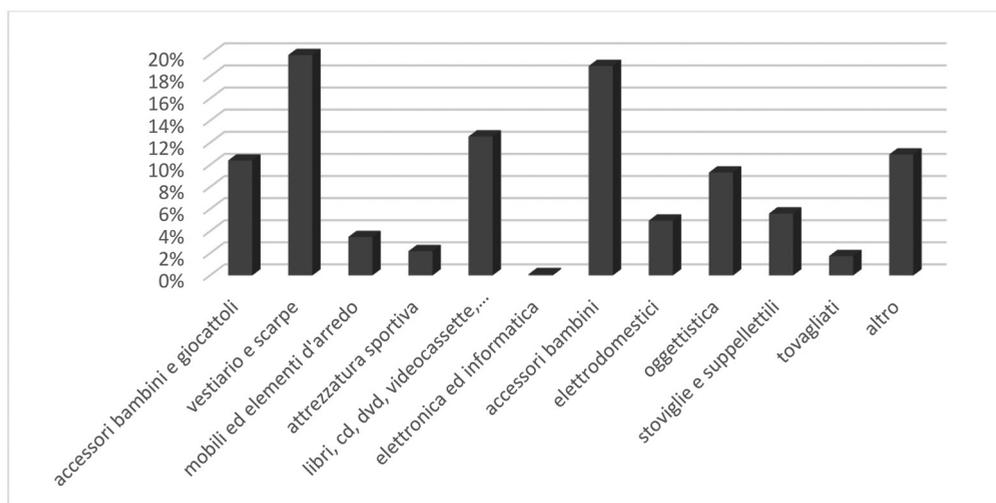


Fig. 4 – Principali categorie di oggetti donati al Centro dei Riutilizzo di Busto Arsizio

3. Conclusioni

La risposta dei cittadini di Busto A. dall'apertura del CdR è stata ottima, oltre le aspettative, permettendo di raccogliere i beni conferiti ed esporli efficacemente, garantendo un turnover adeguato e per la maggior parte dei beni una valorizzazione e quindi una sottrazione dal flusso dei rifiuti. Il CdR anche in una grande città urbanizzata e già dotata di strutture per la cessione di beni usati, permette di intercettare quindi quei beni di ridotto valore che normalmente i cittadini destinerebbero allo smaltimento.

Bibliografia

- [1] *Pacchetto UE sull'Economia Circolare composto da: Direttiva 2018/851/UE di modifica della Direttiva quadro in materia di rifiuti 2008/98/CE, Direttiva 2018/850/UE di modifica della Direttiva discariche (1999/31/CE), Direttiva 2018/852/UE di modifica della Direttiva imballaggi (94/62/CE) e Direttiva 2018/849/UE di modifica delle Direttive sui veicoli fuori uso (2000/53/CE), su pile e accumulatori (2006/66/CE) e sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche – RAEE (2012/19/UE);*
- [2] https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_it;
- [3] **AA.VV.**, *Rapporto Nazionale sul Riutilizzo 2021*, Osservatorio del Riutilizzo, Rete ONU – LabeLab;
- [4] https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=4241;
- [5] **AA.VV.**, *Rapporto Nazionale sul Riutilizzo 2018*, Osservatorio del Riutilizzo, Rete ONU – Occhio del Riciclone;
- [6] **ISPRA**, *Prima indagine conoscitiva sulle misure di prevenzione della produzione dei rifiuti urbani adottate dai comuni*, Roma, 2021;
- [7] **Daniele Di Stefano**, *Quanti sono? Dove sono? Cosa fanno? Il primo censimento dei centri del riuso e riparazione*, EconomiaCircolare.com, 17 Marzo 2021;
- [8] **Antonio Pergolizzi**, *I centri del riuso, esempi concreti di economia circolare e solidale*, EconomiaCircolare.com, 17 Marzo 2021;
- [9] **Osservatorio Regionale Rifiuti**, *Dati rifiuti urbani 2020*, ARPA Lombardia, 2022.

Gli obiettivi di riciclo nella pianificazione regionale: il caso della Regione Lombardia

*Giorgio Ghiringhelli, ghiringhelli@arsambiente.it, Michele Giavini, Elisa Amodeo, Silvia Colombo
ARS ambiente Srl, Gallarate (VA)*

Riassunto

Con delibera di Giunta regionale n° 6408 del 23/05/2022 è stato approvato l'Aggiornamento del Programma Regionale di Gestione (PRGR) dei Rifiuti della Regione Lombardia. Il Programma concorre all'attuazione delle strategie comunitarie di sviluppo sostenibile, oltre a rappresentare lo strumento di programmazione attraverso il quale Regione Lombardia definisce in maniera integrata le politiche in materia di prevenzione, riciclo, recupero e smaltimento dei rifiuti, nonché di gestione dei siti inquinati da bonificare. Come è noto, con l'entrata in vigore della Direttiva (UE) 2018/851, gli Stati Membri devono raggiungere sfidanti obiettivi di riciclaggio come specificato nell'art. 11, ossia innalzare la preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio dei rifiuti urbani almeno al 55% in peso al 2025, al 60% al 2030, al 65% al 2035. Poiché il riciclaggio effettivo non è equivalente alla raccolta differenziata, in quanto va calcolato al netto degli scarti derivanti dalle operazioni di separazione e selezione e riciclo stesse, Regione Lombardia si è posta l'obiettivo di stimare, nell'ambito dell'aggiornamento del PRGR, in modo il più possibile analitico il valore di questo riciclaggio netto, sia come stato di fatto che come obiettivi futuri.

Abstract

The Update of the Regional Waste Management Program (PRGR) of the Lombardy Region was approved by Regional Council Resolution No. 6408 of 23/05/2022. The Program contributes to the implementation of EU sustainable development strategies, as well as representing the programming tool through which the Lombardy Region defines in an integrated manner the policies regarding the prevention, recycling, recovery and disposal of waste, as well as the management of polluted sites to be reclaimed. As is known, with the entry into force of Directive (EU) 2018/851, Member States must achieve challenging recycling targets as specified in art. 11, i.e. to raise the preparation for reuse and recycling of municipal waste to at least 55% by weight by 2025, to 60% by 2030, to 65% by 2035. Since actual recycling is not equivalent to separate collection, as it must be calculated net of the rejects deriving from the separation and selection and recycling operations themselves, the Lombardy Region has set itself the objective of estimating, in the context of updating the PRGR, in the most analytical way possible the value of this net recycling, both as a state of fact and as future goals.

1. Introduzione

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

Aree Inquinare (PRB) della Regione Lombardia per il periodo 2021-2027 [1], il cui frontespizio è raffigurato in figura 1.

L'aggiornamento, a partire dal PRGR 2014-2020 [2] è stato realizzato dagli uffici di Regione Lombardia – D.G. Ambiente, Energia e Sviluppo Sostenibile – U.O. Attività estrattive, bonifiche e pianificazione rifiuti – Struttura Pianificazione dei rifiuti e delle bonifiche di Regione Lombardia, con il supporto dell'RTI costituito da ARS ambiente Srl (capofila), Oikos Progetti Srl, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA) del Politecnico di Milano, Terraria Srl e ETRA Spa.



Fig. 1 – Copertina dell'aggiornamento del PRGR Lombardia 2021-2027 [1].

Il Programma concorre all'attuazione delle strategie comunitarie di sviluppo sostenibile, oltre a rappresentare lo strumento di programmazione attraverso il quale Regione Lombardia definisce in maniera integrata le politiche in materia di prevenzione, riciclo, recupero e smaltimento dei rifiuti, nonché di gestione dei siti inquinati da bonificare. Esso contiene scenari evolutivi al 2027 sia per i rifiuti urbani che per i rifiuti speciali, definendo specifici obiettivi e strumenti attuativi, che puntano a favorire i processi di riciclo effettivo e a limitare la realizzazione di nuove volumetrie di discariche. Il PRGR è corredato anche dai criteri localizzativi da applicare per i nuovi impianti e per le modifiche degli impianti esistenti ed è inoltre composto da specifici piani: Programma di prevenzione rifiuti - Programma di gestione dei rifiuti da imballaggi - Programma di riduzione dei

RUB - Programma di gestione dei fanghi - Programma di gestione dei rifiuti contenenti amianto - Programma PCB.

1. Relazione

2. Relazione

2.1 Nuovi obiettivi di riciclo per i rifiuti urbani

La normativa comunitaria vigente in materia di gestione dei rifiuti è la direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio UE n. 2008/98/CE del 19 novembre 2008.

Il concetto cardine attorno al quale si sviluppa la normativa comunitaria sui rifiuti è la gerarchia dei rifiuti [3], definita quale ordine di priorità della normativa e della politica in materia di prevenzione e gestione dei rifiuti. Essa è caratterizzata dalle seguenti fasi, rappresentate in figura 2:

- prevenzione;
- preparazione per il riutilizzo;
- riciclaggio;
- recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia;
- smaltimento.



Fig. 2 – Gerarchia UE sulla gestione dei rifiuti [3].

Il 14 giugno 2018 è stato pubblicato sulla Gazzetta ufficiale dell'Unione europea il cosiddetto "Pacchetto per l'Economia Circolare" costituito da quattro direttive. Come è noto, con l'entrata in vigore della Direttiva (UE) 2018/851, gli Stati Membri devono raggiungere sfidanti obiettivi di riciclaggio come specificato nell'art. 11, ossia innalzare la preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio dei rifiuti urbani almeno al 55% in peso al 2025, al 60% al 2030, al 65% al 2035. Poiché il riciclaggio effettivo non è equivalente alla raccolta differenziata, in quanto va calcolato al netto degli scarti derivanti dalle operazioni di separazione e selezione e riciclo stesse, come rappresentato in figura 3.



Fig. 3 – Schema di flusso ideale del recupero dei rifiuti separati attraverso la raccolta differenziata che, dopo le operazioni di selezione e riciclo, generano una quantità di materie prime a recupero di materia inferiori al materiale raccolto per effetto degli scarti generati in ogni fase di trattamento (Bellan e Grosso, 2020).

2.2 Il calcolo dell'effettivo riciclo in Lombardia

Gli obiettivi comunitari sono da raggiungere a livello nazionale e non regionale, ma la Lombardia ha deciso di porsi comunque degli obiettivi interni, alla luce del peso rilevante che questa regione gioca sulla produzione nazionale di rifiuti e al fine di porre in atto con il giusto anticipo politiche idonee alla misura e riduzione degli scarti generati in fase di selezione e di riciclo. Regione Lombardia si è posta quindi l'obiettivo di stimare, nell'ambito dell'aggiornamento del PRGR, in modo il più possibile analitico il valore di questo riciclaggio netto, sia come stato di fatto che come obiettivi futuri.

Pertanto, grazie ad alcune analisi di dettaglio effettuate principalmente dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA) del Politecnico di Milano [4], si sono scelti alcuni coefficienti di scarto caratteristici per le varie filiere. Oltretutto, come proposta innovativa si è cercato di analizzare gli scarti generati nell'ambito dei diversi modelli di raccolta differenziata adottati in Lombardia (porta a porta, cassonetti stradali, misto) al fine di verificare l'effetto delle politiche di miglioramento della qualità del riciclaggio legata all'innovazione nei modelli e al miglioramento del comportamento dei cittadini.

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

Poiché l'orizzonte temporale di questo aggiornamento del Programma Regionale di Gestione (PRGR) dei Rifiuti è il 2027, al fine del raggiungimento del 55% al 2025 la Lombardia sarebbe già attualmente conforme. Ciononostante, a seguito delle analisi dei numerosi dati comunali esistenti (nel database analizzato vi sono più di 1.500 Comuni), si è utilizzato l'approccio di simulare una crescita delle *performances* comunali con un trend paragonabile a quello dei Comuni più virtuosi. Infatti, nel 2019 erano già presenti più di 200 Comuni con un livello di raccolta differenziata superiore all'80%, ed estrapolando questo andamento a tutti gli altri Comuni, con alcune assunzioni di base, si è creato quello che è stato definito "*scenario ottimizzato*", così come rappresentato in figura 4 in confronto con lo scenario inerziale (trend attuale senza modifiche) o lo scenario obiettivo (raggiungimento degli obiettivi minimi di legge).

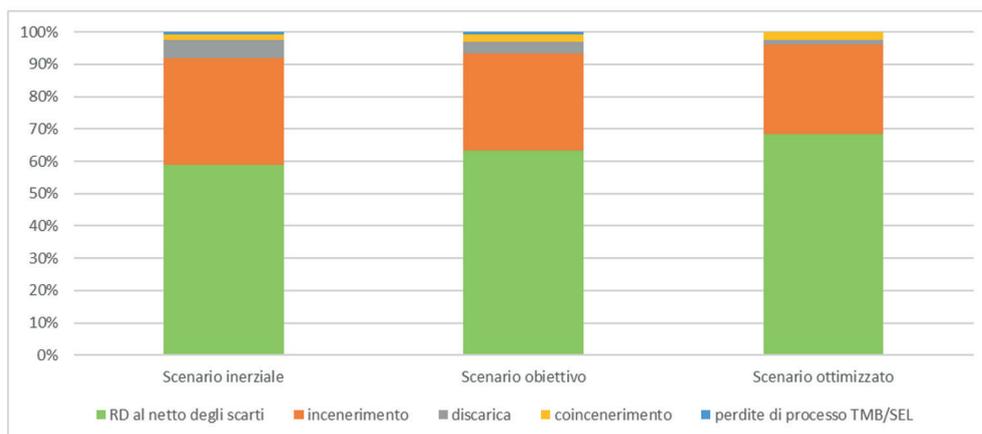


Fig. 4 – Scenari al 2027 presenti nel Programma Regionale di Gestione (PRGR) dei Rifiuti rispetto ai destini di tutte le frazioni di rifiuti urbani [1].

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

Iniziative per promuovere l’effettivo recupero dei rifiuti urbani

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

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

3. Conclusioni

L'aggiornamento del Programma Regionale di Gestione Rifiuti (PRGR) per il periodo 2021-2027 contiene la rivalutazione della programmazione lombarda del settore ambientale in tema di rifiuti e recepisce il cosiddetto “Pacchetto per l’Economia Circolare” dell’Unione Europea. L'aggiornamento del PRGR ha confermato la posizione della Lombardia tra le regioni virtuose, non solo a livello nazionale, ma anche a livello europeo: il sistema impiantistico permette di raggiungere alti livelli di recupero di materia ed energia, destinando al conferimento in discarica una percentuale bassissima di rifiuti e garantendo, comunque, l'autosufficienza. Già negli anni scorsi, la produzione dei rifiuti è diminuita e la percentuale di raccolta differenziata è aumentata grazie a comportamenti più consapevoli sia nel gestire che nel differenziare i rifiuti. Viene chiesto ora di continuare con impegno su questa strada, riducendo ulteriormente gli sprechi alimentari, continuando a scegliere prodotti poco imballati o fabbricati con materiali recuperati o più facilmente recuperabili e prestando sempre maggiore attenzione alla raccolta dei RAEE. Contemporaneamente, in base a quanto previsto dall'aggiornamento del PRGR, nei prossimi anni verrà completata l'estensione del modello omogeneo di raccolta porta a porta o di altri sistemi ugualmente performanti in modo da consentire a tutti i Comuni di raggiungere almeno il 65% di raccolta differenziata e una buona qualità delle frazioni di rifiuto raccolte separatamente. Si potrà in tal modo raggiungere e superare la percentuale media regionale di raccolta differenziata del 75% e una percentuale media regionale di riciclo del 57% al 2027.

Bibliografia

- [1] **Regione Lombardia**, *Aggiornamento del Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti*, d.g.r. n 6408 del 23/05/2022.
- [2] **Regione Lombardia**, *Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti*, d.g.r. n. 1990 del 20 giugno 2014.
- [3] *Waste Framework Directive, DIRECTIVE 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives.*
- [4] **Bellan M., Grosso M.**, *Valutazione dei flussi di scarto nella gestione dei rifiuti urbani in Italia*, Ingegneria dell’Ambiente, Vol. 7 n. 3, pag. 161-174, Milano, 2020.

Il Testo Integrato della qualità del servizio di gestione dei rifiuti urbani (TQRIF) di ARERA: un'analisi empirica su un campione di gestioni.

Giorgio Ghiringhelli ghiringhelli@arsambiente.it, Silvia Contri, ARS ambiente Srl, Gallarate (VA)

Giuseppe Sbarbaro, Monica Benzi, Stefano Amandolesi – Utiliteam Co. Srl, Milano

Riassunto

L'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) ha pubblicato il 21 gennaio 2022, con la Delibera 15/2022/R/rif, il Testo Integrato Qualità Rifiuti (TQRIF), delineando così il secondo pilastro della regolazione di settore, dopo la disciplina tariffaria e in attesa dell' unbundling contabile. Per quanto ARERA dichiara di adottare un approccio graduale, per consentire ai soggetti obbligati tempi e mezzi congrui per adeguarsi, già si pongono le prime urgenze per gli operatori: entro il 31 marzo 2022, infatti, gli Enti Territorialmente Competenti (ETC), individuando il posizionamento della propria gestione nella matrice degli schemi regolatori del TQRIF, hanno dovuto determinare gli obblighi di qualità contrattuale e tecnica che i gestori del servizio, operanti nella gestione, dovranno rispettare per tutta la durata del Piano Economico Finanziario (PEF) e che influenzeranno inevitabilmente i costi per l'adeguamento alla disciplina della qualità.

Summary

The Regulatory Authority for Energy, Networks and the Environment (ARERA) published on 21 January 2022, with Resolution 15/2022 / R / ref, the Integrated Waste Quality Text (TQRIF), thus outlining the second pillar of sector regulation, after the tariff regulations and pending accounting unbundling. Although ARERA declares to adopt a gradual approach, in order to allow the obliged subjects adequate times and means to adapt, the first urgencies for the operators are already posed: by 31 March 2022, in fact, the Territorially Competent Bodies (ETC) will have to identify the positioning of its management in the matrix of the regulatory schemes of the TQRIF, determining the contractual and technical quality obligations that the service managers, operating in the management, must comply with for the entire duration of the Economic and Financial Plan (PEF) and which will therefore inevitably influence the costs for adapting to the quality discipline.

1. Introduzione

Nel corso del 2021 l'attività dell'ARERA è stata incentrata sulla tutela dell'utente del servizio di gestione dei rifiuti urbani, trovando compimento nella definizione, e successiva approvazione, di un Testo unico per la regolazione della qualità del servizio di gestione dei rifiuti urbani (TQRIF).

Dal 1° gennaio 2023, è stata prevista l'introduzione di un set di obblighi di servizio minimo riguardante i principali profili di qualità contrattuale e tecnica, valido per tutte le gestioni, affiancato da indicatori e standard generali di qualità. Con questa disciplina ARERA è intervenuta in un contesto fortemente eterogeneo, con significative differenze tra le macro-aree del Paese in termini di prestazioni garantite agli utenti, caratterizzato dalla presenza di numerosi operatori di piccole dimensioni che svolgono singole attività del servizio integrato di gestione dei rifiuti urbani in ambiti generalmente di dimensioni comunali, da una scarsa ottemperanza all'obbligo di adozione della Carta della qualità e da un'esigua implementazione di indicatori di qualità contrattuale e/o tecnica, dei relativi standard prestazionali e di sistemi di indennizzi per l'utente.

Il procedimento per la regolazione della qualità del servizio integrato di gestione dei rifiuti urbani, avviato con la delibera 5 aprile 2018, 226/2018/R/rif, si è sviluppato a partire dall'emanazione del Testo integrato in tema di trasparenza nel servizio di gestione dei rifiuti (TITR) [1], nell'ambito del quale l'Autorità ha prioritariamente disciplinato i contenuti informativi minimi obbligatori che i gestori devono riportare sui siti internet, documenti di riscossione e comunicazioni individuali agli utenti tenuti al pagamento della tariffa per la fruizione del servizio.

Successivamente, con il documento per la consultazione 23 febbraio 2021, 72/2021/R/rif – i cui dettagli sono stati illustrati nella Relazione Annuale del 2021 [2] – l'Autorità ha delineato gli orientamenti iniziali per la regolazione sia della qualità contrattuale sia della qualità tecnica del servizio. Sono state previste misure di tutela degli utenti nelle fasi di attivazione, variazione e cessazione del servizio, misure a supporto di un'efficace transizione verso sistemi di tariffazione puntuale, basati sulla quantificazione dei rifiuti prodotti in ossequio al principio comunitario del *"pay as you throw"*, e misure volte a favorire una maggiore trasparenza dei costi del servizio [3].

1.1 Testo unico della regolazione della qualità del servizio di gestione dei rifiuti urbani

Con la delibera 15/2022/R/rif è stato approvato il *"Testo unico della regolazione della qualità del servizio di gestione dei rifiuti urbani"* (TQRIF) con il quale l'ARERA, confermando l'impostazione dei precedenti documenti per la consultazione, ha definito un modello di regolazione asimmetrico e graduale, che tiene conto dell'eterogeneità del settore, differenziando gli obblighi di servizio e gli standard generali di qualità in relazione allo Schema regolatorio di appartenenza.

Entro il 31 marzo 2022 l'ETC aveva l'obbligo di individuare lo Schema di appartenenza della gestione secondo la matrice rappresentata in figura 1, da definirsi sulla base del livello qualitativo di partenza di ciascuna gestione, in ragione delle prestazioni previste nel/i Contratto/i di servizio e/o nella/e Carta/e della qualità vigenti.

| | | PREVISIONI DI OBBLIGHI E STRUMENTI DI CONTROLLO IN MATERIA DI QUALITÀ TECNICA (CONTINUITÀ, REGOLARITÀ, E SICUREZZA DEL SERVIZIO) | |
|---|---------------------------|--|---|
| | | QUALITÀ TECNICA = NO | QUALITÀ TECNICA = SÌ |
| PREVISIONI DI OBBLIGHI IN MATERIA DI QUALITÀ CONTRATTUALE | QUALITÀ CONTRATTUALE = NO | Schema I Obblighi minimi | Schema III Livello intermedio |
| | QUALITÀ CONTRATTUALE = SÌ | Schema II Livello intermedio | Schema IV Livello avanzato |

Fig. 1 – Matrice di schemi regolatori della qualità (Fonte: ARERA)

Al fine di agevolare l'accesso degli utenti alle informazioni sulla qualità del servizio, l'Autorità ha introdotto in capo agli ETC (Enti Territorialmente Competenti) anche l'obbligo di approvare un'unica Carta della qualità del servizio integrato di gestione dei rifiuti urbani, anche in presenza di più soggetti gestori, recante, per ciascun servizio, l'indicazione degli obblighi di qualità previsti dal TQRIF, nonché degli standard ulteriori o migliorativi eventualmente previsti dall'ETC. La Carta, ai fini di favorire la trasparenza e la consapevolezza dell'utente, deve essere pubblicata ai sensi del TITR sul sito internet del gestore del servizio integrato, ovvero del gestore dei singoli servizi, e dovrà indicare il posizionamento della gestione nella matrice degli schemi regolatori.

1.2 La qualità contrattuale

Per quanto riguarda i profili di qualità contrattuale, il TQRIF:

- individua le modalità di presentazione dei reclami e delle richieste scritte di informazioni, il contenuto minimo della risposta ai reclami e il tempo di risposta, pari a 30 giorni lavorativi;
- disciplina le procedure inerenti all'attivazione, alla variazione e alla cessazione del servizio, definendo i termini per la presentazione delle richieste da parte dell'utente (entro 90 giorni solari, ovvero entro 30 giorni solari nelle gestioni in tariffazione puntuale, ove previsto dall'ETC) e di decorrenza degli effetti, nonché il tempo di risposta, pari a 30 giorni lavorativi, al fine di favorire una maggiore consapevolezza degli utenti rispetto alla fruizione del servizio;
- introduce una procedura omogenea a livello nazionale per la dimostrazione dell'effettivo avvio a recupero da parte delle utenze non domestiche che gestiscono i propri rifiuti urbani al di fuori del servizio pubblico [4];
- relativamente ai punti di contatto con gli utenti, prevede per tutte le gestioni l'obbligo di attivazione del servizio telefonico gratuito e, per le gestioni con un livello qualitativo intermedio o avanzato, l'obbligo di attivazione di almeno uno sportello online dispositivo, demandando all'ETC, d'intesa con le associazioni dei consumatori locali e in accordo con il gestore, la facoltà di prevedere, in alternativa o in aggiunta allo sportello online, l'apertura di uno o più sportelli fisici a tutela degli utenti con bassi livelli di digitalizzazione; per le gestioni più virtuose ricadenti nello Schema IV, individua il tempo di attesa per il servizio telefonico pari a 240 secondi;
- in materia di riscossione, a tutela di tutti gli utenti e indipendentemente dal regime tributario/tariffario applicato a livello locale, garantisce una periodicità minima annuale di invio del documento di riscossione, completo dei contenuti prescritti dal TITR, almeno un'opzione di pagamento gratuita degli importi dovuti, condizioni per l'accesso alla rateizzazione gratuita, nonché la possibilità per gli utenti in condizioni di fragilità economica di richiedere l'ulteriore rateizzazione dei pagamenti dovuti;
- individua puntualmente le modalità di presentazione e il contenuto minimo della risposta alla richiesta di rettifica dell'utente, le modalità per il rimborso delle somme non dovute, nonché il tempo di risposta, pari a 60 giorni lavorativi, e di rimborso di tali somme, pari a 120 giorni lavorativi.

1.3 La qualità tecnica

- Relativamente ai profili di qualità tecnica, il TQRIF:
- con riferimento alla continuità e regolarità del servizio di raccolta e trasporto e spazzamento delle strade individua obblighi di servizio che favoriscano il controllo periodico del corretto svolgimento dei servizi (quali la mappatura delle aree di raccolta e la predisposizione di un programma delle attività), prevedendo per le gestioni con livelli qualitativi almeno intermedi (Schemi III e IV) misure ulteriori finalizzate a garantire la puntualità dei servizi e la continuità dei conferimenti da parte degli utenti; in aggiunta, per le gestioni più evolute (Schema

IV), introduce l'obbligo di registrazione delle interruzioni del servizio – circoscritte a quelle rilevanti o limitate in funzione dell'estensione dell'area interessata – nonché la durata massima delle stesse pari a 24 ore, prevedendo in una fase successiva, in una logica di gradualità nell'implementazione della regolazione (dal 2025), anche l'adozione di uno standard generale sul numero massimo di interruzioni tollerabili dal sistema;

- per quanto riguarda la sicurezza del servizio, prevede l'obbligo di attivazione di un numero verde gratuito, dedicato e raggiungibile dall'utente 24h/24, fissando il tempo di arrivo sul luogo della chiamata, pari a 4 ore, introduce tempi certi e omogenei per la messa in sicurezza dell'area oggetto di abbandono di rifiuti (4 ore dall'arrivo sul luogo della chiamata) e per la loro successiva rimozione (15 giorni lavorativi dalla messa in sicurezza dell'area), laddove presentino profili di criticità in tema di sicurezza.

- in materia di ritiro dei rifiuti su chiamata, introduce l'obbligo di servizio minimo di ritiro a domicilio senza oneri aggiuntivi unico a livello nazionale (pari ad un ritiro mensile per utenza) – derogabile dall'ETC, in ragione dell'esistenza o meno sul territorio di forme alternative di raccolta (quali, ad esempio, centri di raccolta o mezzi mobili), fatta eccezione per gli utenti in condizioni di fragilità economica e/o fisica ai quali deve essere comunque garantito il servizio senza oneri aggiuntivi – affiancato alla determinazione del tempo di erogazione della prestazione pari a 15 giorni lavorativi;

- definisce le tempistiche di intervento del gestore nel caso di segnalazione per disservizi e per richieste di riparazione delle attrezzature per la raccolta domiciliare, individuando, nel primo caso, un tempo di intervento pari a 5 giorni lavorativi e, nel secondo, a 10 giorni lavorativi, entrambi incrementabili di ulteriori 5 giorni lavorativi, in funzione della necessità di effettuare un sopralluogo.

1.4 Tempistiche, soggetti obbligati e trasparenza

Le tempistiche associate agli indicatori di qualità contrattuale e tecnica sopra riportati devono essere garantite per una percentuale di prestazioni (standard generali) con livelli via via crescenti in relazione allo Schema regolatorio di appartenenza. Al fine di agevolare l'utente nell'individuazione del gestore di riferimento e conseguentemente nell'accesso alle prestazioni, tenuto conto della ancora diffusa frammentazione del servizio e della durata temporalmente limitata della maggior parte degli affidamenti, l'Autorità ha individuato quale soggetto obbligato all'attuazione del set di regole corrispondente allo specifico Schema il gestore del servizio integrato dei rifiuti urbani, ovvero negli ambiti tariffari in cui non opera un gestore integrato:

- il gestore dell'attività di gestione tariffe e rapporto con gli utenti, con riferimento ai profili di qualità contrattuale e, in particolare, agli obblighi relativi alla gestione dei reclami, delle richieste scritte di informazioni, dei punti di contatto con l'utente, nonché quelli in materia di riscossione, rettifica delle somme richieste e rimborso degli importi non dovuti;

- il gestore della raccolta e trasporto e/o spazzamento delle strade, ognuno per le attività di propria competenza, per quanto riguarda le prestazioni relative alla disciplina in materia di qualità tecnica del servizio, al ritiro dei rifiuti ingombranti, alla segnalazione di disservizi e alla riparazione delle attrezzature per la raccolta domiciliare, che richiedono l'utilizzo di mezzi e know-how specifici nell'esclusiva disponibilità del gestore che fornisce lo specifico servizio.

| | | Schema I | Schema II | Schema III | Schema IV |
|---------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| Obblighi di servizio | | 12/16 | 13/16 | 14/16 | 16/16 |
| Standard generali | | Nessuno | 16/22 | 19/22 | 22/22 |
| Obblighi di registrazione | | Minimi | Parziali | Parziali | Completi |
| Obblighi di comunicazione | | Relazione | Report | Report | Report |
| Verifiche | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Sanzioni | Violazione standard | No | ✓ | ✓ | ✓ |
| | Violazione obblighi di servizio | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Fig. 2 – Sintesi degli obblighi di qualità a seconda dello schema (Fonte: Utiliteam Co. Srl)

Nella figura 2 sono rappresentati in modo sintetico e facilmente confrontabile gli obblighi e adempimenti caratteristici di ciascuno schema di qualità.

Con la menzionata delibera 15/2022/R/rif e il relativo Allegato (TQRIF) l’Autorità ha altresì definito i criteri per la gestione dei flussi informativi tra gestori in caso di servizio non integrato e ha indicato i dati e le informazioni inerenti agli standard generali di qualità che il gestore è tenuto a registrare e comunicare all’Autorità e all’ETC.

Nelle more della disciplina dei meccanismi premiali e/o di penalizzazione che saranno valutati nell’ambito del provvedimento recante i criteri per l’aggiornamento biennale delle predisposizioni tariffarie ai sensi dell’MTR-2, sono state introdotte misure di regolazione reputazionale in capo ai gestori del servizio, obbligando il gestore a pubblicare sul proprio sito internet il posizionamento della gestione nella matrice degli schemi regolatori, gli standard generali di qualità di sua competenza e il grado di rispetto di tali standard, con riferimento all’anno precedente.

Infine, allo scopo di garantire agli utenti, sin dalla fase di avvio della regolazione in materia di qualità del servizio, certezza e facilità di accesso alle informazioni e alle condizioni di erogazione dei vari servizi a fruizione diretta dell’utente, nonché un’adeguata conoscenza degli obblighi in capo al gestore, con la delibera 15/2022/R/rif l’Autorità ha integrato e modificato gli obblighi in materia di trasparenza in capo al gestore del servizio integrato di gestione dei rifiuti urbani, ovvero dei singoli servizi che lo compongono, previsti dal TITR, sia in ordine alle richieste di attivazione, variazione e cessazione del servizio, sia con riferimento ai reclami e alle richieste scritte di informazioni, alle richieste di rettifica degli importi addebitati, di rateizzazione, di ritiro dei rifiuti su chiamata o di riparazione delle attrezzature per la raccolta domiciliare, alle segnalazioni di disservizi e alla qualità tecnica del servizio.

2. Analisi empirica su un campione di gestioni: scelte e motivazioni

Nel corso del 2021 e del 2022 Utiliteam Co Srl ha assistito numerosi gestori dei servizi integrati rifiuti nei primi adempimenti per l’adeguamento al TQRIF, per un totale di 370 gestioni equivalenti alla copertura del 4,7% dei Comuni italiani (3,3 milioni di abitanti circa) collocati quasi totalmente nel nord Italia (99,5%) nelle regioni Liguria, Lombardia, Piemonte, Trentino Alto Adige e Veneto [5]. Il campione presenta le seguenti caratteristiche:

- nell’89,7% dei casi le gestioni sono separate e per il restante 10,3% sono integrate; le gestioni separate nel 99,7% dei casi sono caratterizzate dalla presenza di due gestori, nei restanti casi i gestori sono tre;
- il 75,4% degli ETC sono Comuni, il 16,2% Enti di Bacino e l’8,4% consorzi sovracomunali;

- il regime tariffario nel 79,7% dei casi è TARI tributo e nel 20,3% tariffa puntuale (tributo o corrispettiva);
- il gestore della riscossione per il 79,7% dei casi è il Comune, mentre per l'11,1% è una società terza affidataria e per il 9,2% il gestore delle attività di raccolta rifiuti. nei casi in cui il gestore della riscossione è il Comune, l'attività è affidata dallo stesso al gestore del servizio di raccolta e trasporto nel 6,8% dei casi e nel 0,3% ad un soggetto terzo.

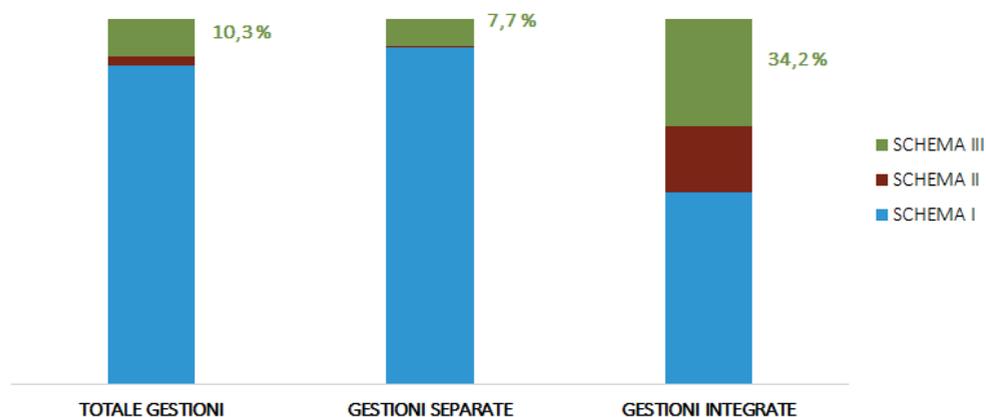


Fig. 3 – Scelta dello schema regolatorio del campione analizzato (Fonte: Utiliteam Co. Srl) [5]

Analizzando il campione di gestioni sulla base dello schema regolatorio scelto, come rappresentato in figura 3, è possibile verificare che la maggior parte delle gestioni ha adottato lo Schema I, mentre lo Schema III è stato scelto solo dal 10,3% del campione. Se si restringe lo spettro di analisi alle sole gestioni integrate, si nota come l'adozione dello Schema III salga al 34,2% dei casi, a dimostrazione di come l'integrazione delle gestioni favorisca una gestione della qualità più avanzata.

La scelta dello Schema I nelle gestioni integrate sembra dettata dall'intenzione di produrre un minore impatto sulla gestione operativa in termini di costi della qualità, rischio sanzionatorio, e tempo a disposizione per introdurre gli adeguamenti previsti dagli schemi più avanzati. Tale valutazione può essere in parte fuorviante, se non si considera che lo schema regolatorio non è destinato a rimanere invariato nel tempo: in analogia con altri settori regolati, si può ipotizzare che sarà richiesto da ARERA un progressivo avanzamento di livello di qualità, cosicché i costi saranno destinati in ogni caso a crescere, raggiungendo a regime i livelli dello Schema IV. Per contenere effettivamente i costi e i rischi è necessario strutturare da subito un'organizzazione e un sistema tecnologico che garantiscano di poter conseguire nel tempo livelli di qualità conformi agli schemi più elevati, effettuando scelte operative e di investimento lungimiranti.

Per quanto riguarda l'interazione tra TQRIF e MTR-2 si è constatato come ben 257 delle 370 gestioni esaminate abbiano valorizzato il CQ_{exp} (costi previsionali per l'adeguamento agli standard e ai livelli minimi di qualità) nei PEF 2022-2025 con un valore medio di 0,84 €/abitante (min. 0,03 e max. 3,61).

La scelta dello schema regolatorio individuato dall'ETC incide sulla quantificazione del valore annuo pro-capite, che si attesta su un importo di 0,79 €/abitante in media per le gestioni rientranti nello Schema I e 1,31 €/abitante in media per quelle dello Schema III.

3. Conclusioni

ARERA, replicando in parte i modelli già adottati negli altri settori regolati, ha introdotto obblighi di registrazione e meccanismi per rafforzare l'implementazione della qualità tecnica e contrattuale. I principali cambiamenti e sfide impattanti sul servizio riguardano il ritiro dei rifiuti ingombranti su chiamata, il pronto intervento e l'istituzione di canali innovativi per il contatto degli utenti (numero verde, centralino, reperibilità 24h per emergenze, sportello online dispositivo). Per implementare la qualità regolata contenendo i costi di gestione, serve dotarsi di strumenti informativi moderni di gestione dei database utenti e dei canali di contatto, al fine di avere basi dati organizzate, procedure affidabili, registrazioni certificabili e di prevenire/mitigare il rischio sanzionatorio. In questo quadro emerge come le gestioni integrate (quantomeno per le fasi a monte della filiera ovvero raccolta e trasporto, spazzamento, tariffazione) possano rappresentare degli assetti più performanti nell'ottica della gestione della qualità [6].

Il costo previsionale dell'attivazione della qualità regolata risulta inizialmente più impattante per le gestioni che si posizionano negli schemi intermedio o avanzato; tuttavia, per le altre gestioni vi è il rischio di compiere scelte organizzative non lungimiranti, che potrebbero produrre inefficienze e costi complessivamente superiori nel dover rincorrere successivamente interventi di adeguamento a standard più elevati. Negli ambiti ove l'attività di gestione della tariffa e del rapporto con gli utenti è in capo ai Comuni, si presenta l'occasione di affidare le suddette attività al gestore del servizio di raccolta e trasporto, passando da tassa a tariffa puntuale corrispettiva o TARIP. È un'opportunità di ampliamento del business e della competitività, in presenza di un rischio credito ritenuto affrontabile.

Bibliografia

[1] **ARERA**, *Testo integrato in tema di trasparenza nel servizio di gestione dei rifiuti*, allegato alla delibera 31 ottobre 2019, 444/2019/R/rif;

[2] **ARERA**, *Relazione Annuale 2021*, Capitolo 7 del Volume II sull'attività svolta;

[3] **ARERA**, *Relazione Annuale 2022*, Capitolo 8 del Volume II sull'attività svolta;

[4] Articoli 198, comma 2-bis e 238, comma 10, del decreto legislativo n. 152/2006;

[5] **M. Benzi**, *“Le gestioni, lo schema regolatorio e le coperture tariffarie: dati, scelte, strategie”*, Webinar Utiliteam 12/05/2022;

[6] **S. Amandolesi**, *“Qualità rifiuti: stato dell'arte e piani di adeguamento”*, Webinar Utiliteam 12/05/2022.

La produzione dei rifiuti e influenza della tariffa puntuale

Ernesto Infusino ernesto.infusino@unical.it, Università della Calabria, Rende (CS), Roberta Infusino libera professionista, Cosenza

Riassunto

Nell'Agenda 2030 dell'ONU, è affrontato il tema dell'economia circolare promossa dal dodicesimo goal (ONU 2015); tra gli strumenti di attuazione di tale agenda l'Unione Europea ha proposto la tariffazione dei rifiuti puntuale o corrispettiva (TARIP) in ambito locale, finalizzata alla riduzione dei rifiuti e al miglioramento della qualità della raccolta differenziata, con la riduzione della frazione indifferenziata. Scopo del presente lavoro è quello di analizzare l'andamento della produzione dei rifiuti in ambito nazionale e di valutare l'impatto della TARIP quale strumento ecosostenibile adottato da alcune amministrazioni al posto della TARI (tassa sui rifiuti). E' stata valutata, in particolare, la produzione di rifiuti della regione Emilia-Romagna, regione che ha incentivato l'adozione della TARIP, e l'impatto economico della tariffazione puntuale in due comuni capoluogo di provincia, Ferrara e Forlì, che hanno adottato il nuovo regime tariffario.

Summary

In UN's 2030 Agenda, the issue of the circular economy promoted by the twelfth goal (UN 2015) is addressed; among the tools for implementing this agenda, the European Union has proposed punctual or corresponding waste pricing (TARIP) in the local area, aimed at reducing waste and improving the quality of separate waste collection, with the reduction of the undifferentiated fraction. The purpose of this work is to analyze the trend of waste production at national level and to evaluate the impact of the TARIP as an eco-sustainable tool adopted by some administrations in place of the TARI (waste tax). The production of waste in the Emilia-Romagna region was assessed, which favored the adoption of the TARIP, and the impact of punctual pricing in two provincial capitals, Ferrara and Forlì, which adopted the new tariff regime.

1. Premessa

Il modello economico tradizionale applicato dalle civiltà industriali e post-industriali era basato su un rapporto antitetico tra economia e ambiente la crescita economica così che è avvenuta 644 indirizzando verso un nuovo modello di "crescita sostenibile". Il primo tentativo di sensibilizzazione internazionale sui problemi ambientali risale al 1972 (Conferenza NU sull'Ambiente Umano). Nel 1992, con la Conferenza delle NU su Ambiente e Sviluppo, ha preso forma l'Agenda 21 che ha introdotto il principio di "chi inquina paga", principio poi mutuato nel 1994 dall'UE. L'Agenda 21 era divisa in quattro sezioni, in particolare la sezione 2 dedicata alla "Conservazione e gestione delle risorse per lo sviluppo" era suddivisa a sua volta in 14 aree di azione, di cui la 12 e la 13 riservate, rispettivamente, ai rifiuti e ai rifiuti tossici; il capitolo 28 è poi dedicato alle iniziative locali (Agenda 21 locale) essendo le autorità locali gli attuatori delle politiche ambientali [1] [2]. L'UE nel recepire l'Agenda 21 ha delineato i compiti degli enti locali (Carta di Aalborg del 1994, Convenzione di Aarhus del 1998). Con la Conferenza ONU "Rio + 10" del 2002 è stato definito un nuovo "Piano d'Azione sullo svilup-

po sostenibile”. Con la Conferenza delle N.U. sullo Sviluppo Sostenibile (UNCSD) di Rio de Janeiro (Rio+20) del 2012 è stato rinnovato l’impegno dei governi per lo sviluppo sostenibile, gettando le basi all’Agenda 2030, che è suddivisa in 17 Obiettivi (Goals), articolati in 169 Target da raggiungere entro il 2030, misurabili con oltre 240 indicatori. Il Goal 12, in particolare, incentiva l’*“economia circolare”* [3].

L’*“economia circolare”* in ambito europeo è stata introdotta dalle direttive: 2018/849 CE, 2018/850 CE, 2018/851 e 2018/852 CE poi attuata con una serie di misure quali: Green New Deal (2020), Piano di azione per l’economia circolare (2021), Piano Next Generation EU (2021), ecc.

La Direttiva 2018/851/UE introduce gli *“Strumenti economici e le altre misure per incentivare l’applicazione della gerarchia dei rifiuti”*; tra le misure previste per ridurre l’uso di materie prime vi è tra l’altro il ricorso al regime delle tariffe puntuali; il recepimento in Italia, di tale direttiva ha dato origine al PNGR (Programma Nazionale per la Gestione dei Rifiuti), programma in cui sono definite le linee strategiche e i criteri che Regioni e Province autonome devono adottare per garantire una gestione efficiente dei rifiuti (D.lgs 116/2020). In attuazione del Piano Next Generation EU, nel gennaio 2021 è stato adottato con il D.L. n.36/2022 il *“Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)”*; uno degli scopi che si prefigge è quello di ridurre l’uso di materie prime non rinnovabili, diminuire la produzione di rifiuti, accrescere il loro riutilizzo e riciclo, ecc [4] [5] [6]. In Italia la competenza relativa alla gestione dei rifiuti (D.lgs 152/2006) è ripartita tra Stato (art.195), Regioni (art.196), Province (art.197), Comuni (art.198). A quest’ultimi spetta la modalità del servizio di raccolta dei rifiuti, tariffe, gestione degli impianti di recupero e smaltimento, nonché l’onere di definire: le modalità del conferimento, della raccolta differenziata e del trasporto dei rifiuti urbani. Poiché le competenze sui rifiuti sono ripartite tra più soggetti, sono stati istituiti due enti capaci di controllare e uniformare le modalità di raccolta e smaltimento dei rifiuti e di prelievo: EGATO (Enti di Governo degli Ambiti Territoriali Ottimali), ARERA (Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente).

2. La tariffa sui rifiuti

Nell’ordinamento italiano sono stati recepiti due principi fondamentali dal diritto europeo (Direttiva 2018/851/CE): *“chi inquina paga”* e *“paga per quello che butti”*; il primo stabilisce che i costi di gestione ricadono sui cittadini, il secondo che la tariffa sui rifiuti è funzione della quantità. Il prelievo tariffario sui rifiuti da parte dei comuni è disciplinato dalla L. 147/2013: la TARI (comma 640 e ss art. 1 L. stabilità 2014) di natura tributaria e presuntiva (basata sulla superficie degli immobili, sugli occupanti, ecc.) o la TARIP (comma 668) di natura non tributaria e corrispettiva, previa adozione da parte del comune di un proprio regolamento (art. 52 Dlgs 446/1997). Nel caso della TARIP il costo del servizio si compone di una aliquota fissa commisurata al nucleo familiare e alla superficie calpestabile degli immobili e una variabile commisurata alla quantità di una o più frazioni conferite. Quest’ultima aliquota si compone di addebito all’utenza di un numero minimo di svuotamenti all’anno (basato in genere sul numero dei componenti del nucleo familiare oppure in base alla tipologia di contenitore) e di addebito a conguaglio, nella prima bolletta dell’anno successivo, per l’eccedenza di svuotamenti rispetto a quello minimo. Il numero minimo di svuotamenti dell’indifferenziato (commisurato al nucleo familiare) è mediamente di circa 1 ogni due settimane, per famiglia tipo di tre persone, da molti utenti ritenuto insufficiente che costringe al rilascio, prima del tempo, del rifiuto anche a volume semipieno dei contenitori. Benché il D.M. del 20 aprile 2017 abbia previsto che il costo per ogni svuotamento debba essere commisurato al peso del rifiuto (Euro/kg), molte amministrazioni, atteso che il riferimento non è vincolante, lo hanno commisurato al

numero degli svuotamenti. Per tali procedure sono stati sollevati profili di illegittimità costituzionale (art.23) [7] [8].

La misurazione del rifiuto può essere: diretta (peso); indiretta (volume); flat, ossia in base all'attivazione o meno di un servizio; in base alla numerosità delle richieste di intervento o alla frequenza di ritiro prescelto per una data frazione, oppure al numero di pezzi consegnati/ritirati. L'approccio alla misurazione può essere progressivo oppure premiale. In base a questi diversi approcci sono stati definiti:

- TARI TRIBUTATO PUNTUALE (ibrida); la tariffa è di natura tributaria ma la quantità dei rifiuti è calcolata attraverso sistemi di misurazione puntuale di una o più frazioni dei rifiuti conferiti.
- TARIP CORRISPETTIVA; la tariffa è di natura patrimoniale (non tributaria), con la misurazione della quantità di una o più frazioni conferite ed è determinata in modo tale che il suo gettito garantisca la copertura integrale dei costi di investimento e di esercizio relativi al servizio di gestione dei rifiuti urbani e assimilati e per tutte le attività in esso rientranti.
- TARIP CORRETTA; la tariffa è di natura patrimoniale in cui però la ripartizione dei costi della qualità del servizio di gestione rifiuti tra le utenze tiene conto, oltre che della misurazione puntuale di una o più frazioni, anche dei sistemi correttivi (art. 9 del DM 20 aprile 2017). A differenza della TARI, che è accertata e riscossa dal Comune, la TARIP è riscossa dal gestore, per cui nel bilancio dell'ente locale non transitano più entrate dovute alla gestione dei rifiuti. Una differenza rilevante tra TARI e TARIP riguarda l'IVA e l'imposta provinciale (TEFA); con la TARIP l'IVA è visibile nella fattura/bolletta e non è un costo per le utenze dotate di partita IVA; anche la TEFA è applicata sul valore imponibile, esclusa IVA. I comuni che in Italia al 2020 hanno adottato la TARIP sono circa 900 e sono comuni per la maggior parte del nord Italia. Da una ricerca della IFEL si è accertato un incremento della raccolta differenziata che ha superato l'80%.

3. Produzione dei rifiuti

La produzione dei rifiuti in Italia, per come certificato dall'ISTAT, dal Ministero della Transizione Ecologica (già Ministero dell'Ambiente) nelle periodiche "Relazioni sullo stato dell'ambiente" e dal CNR (per i primi rilevamenti) ha avuto un andamento crescente fino a toccare i 555 kg/ab/anno nell'anno 2005 per poi diminuire fino a 486 kg/ab/anno nel 2015 (12,4% in meno rispetto al massimo); da tale data ha avuto una stasi; nel 2020 nonostante la pandemia da Covid19 la flessione è stata quasi impercettibile rispetto all'anno precedente (fig.1). Negli ultimi anni le performance di riduzione registrate sono maggiori rispetto a quelle medie dei paesi della UE [9] [10]. La serie temporale della produzione pro capite dei rifiuti urbani totali (RS) fino al 2005, è stata interpretata con una curva di tipo logistica tipica degli studi di crescita di popolazioni in condizioni controllate [11] [12]:

$$RS = \left(0,6684 + \frac{0,80}{1 + \left(\frac{1993,18}{t} \right)^{609,41}} \right) \times 365 \quad r^2=0,994, \quad (1)$$

In tale curva si riconoscono un tratto di crescita: ridotta (anni '70), accelerata (seconda metà degli anni '80) seguita da una crescita esponenziale per poi aversi, tra il 1993 e 1994, un punto di flesso (produzione 390 kg/ab/anno) dovuto all'insorgenza di fattori ambientali limitanti, di seguito una crescita limitata o matura con accrescimenti che via via diminuiscono fino ad annullarsi. Successivamente al 2005 i dati di produzione di rifiuti urbani non sono più interpretabili con una curva logistica in quanto gli incrementi divengono negativi; questa tendenza alla diminuzione (2005-2013) non è influenzata solo dalla contrazione dell'andamento degli indici

macroeconomici, quale il PIL (prodotto interno lordo), ma era già in atto prima dell'inizio della crisi economica (2009-2010) avendo probabilmente è raggiunto quello che in ecologia è definita soglia critica del tasso di crescita. Negli anni successivi al 2013 si è assistito ad una stasi della produzione di rifiuti urbani, pur in presenza di indici macroeconomici in aumento e di ripresa della produzione industriale, dovuta a fattori quali: la riduzione dei prodotti (per minore quantità di materiale impiegato nella realizzazione di uno stesso prodotto), minori imballaggi, effetto di disposizioni normative (messa a bando di alcuni materiali monouso, ecc), che si è tradotto anche in un minore consumo di energia elettrica pro capite (E) che presenta, a partire dal punto di flesso (1994-1995) lo stesso andamento della produzione dei rifiuti (Fig. 1).

Se si considerano i dati di produzione dei rifiuti e quelli dei consumi di energia elettrica successivi al 1995 le serie così composte presentano una forte dipendenza lineare, nell'ipotesi che in assenza di energia elettrica la produzione dei rifiuti raccolti sia trascurabile, cioè:

$$RS = 0,128 \times E \quad r^2=0,9994 \quad (2)$$

Tale riduzione dei rifiuti è stata accompagnata da elevate percentuali di riciclo che hanno raggiunto nel 2020 il 63,04%, in linea con le performance degli altri partner europei. Tutto ciò ha contribuito a migliorare le performance degli indicatori della Agenda 2030, in particolare il Goal 11 (diminuzione dell'impatto ambientale dei rifiuti conferiti) e Goal 12 (aumento dell'indice di circolarità della materia, maggiore % di riciclo e diminuzione del consumo materiale per unità di PIL).

4. La TARIP

Tra le regioni che hanno favorito l'adozione della TARIP vi è l'Emilia-Romagna (Del. G.R. n°1762/2018) con 83 comuni che vi hanno aderito (01/01/2020) con una popolazione servita del 31,6% [13]. La produzione di rifiuti della Regione Emilia Romagna, rispetto al resto di Italia, ha presentava valori pro-capite nettamente superiori (31÷32%) e se dal 2005 la produzione in Italia è diminuita ciò non è avvenuto in questa regione, con una produzione che, dopo la flessione registrata nell'anno 2013, ha ripreso a crescere aumentando il divario con il resto del paese, anche dopo l'adozione della TARIP e fino alla flessione del 2020 dovuta alla pandemia da Covid19 (Fig.2).

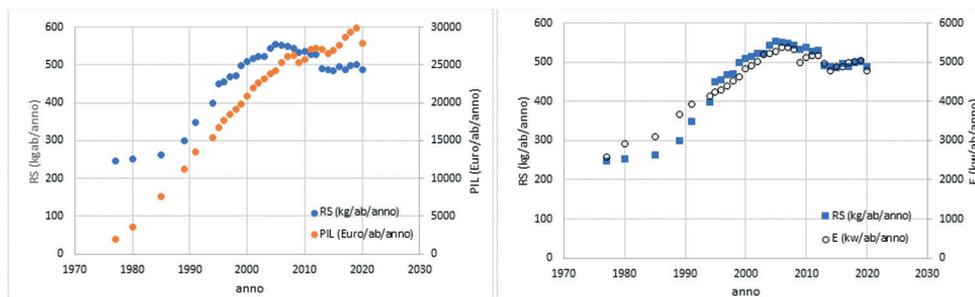


Fig. 1 – Produzione totale dei rifiuti urbani (RS), prodotto interno lordo PIL e consumo d'energia (E) pro-capite in Italia dal 1977 al 2020.

Anche il consumo di energia elettrica nella Regione Emilia-Romagna nel periodo 2005-2020 è mediamente superiore del 20% rispetto al resto del paese; per come accade con i dati nazionali il consumo pro-capite è strettamente correlabile alla produzione dei rifiuti urbani raccolti (Fig. 2).

$$RS = 0,1052 \times E \quad r^2=0,9996 \quad (3)$$

Il costo medio della tariffa per la raccolta dei rifiuti in Emilia-Romagna è stato nel 2021 pari 274 Euro/ab, con una leggera riduzione rispetto al 2020 anno, in cui il costo era mediamente di 276 Euro/ab (-0,70%), in controtendenza rispetto al dato nazionale [1] che registra un costo di 312 Euro/ab (in aumento del +1,50% rispetto all'anno precedente).

Tra i comuni dell'Emilia-Romagna che hanno adottato la TARIP corrispettiva vi sono Ferrara (ab.132.288 nell'anno 2020) e Forlì (ab. 117.479 nell'anno 2020) simili per densità di popolazione e tessuto socioeconomico, che hanno adottato la TARIP, rispettivamente, nel 2018 e nel 2019.

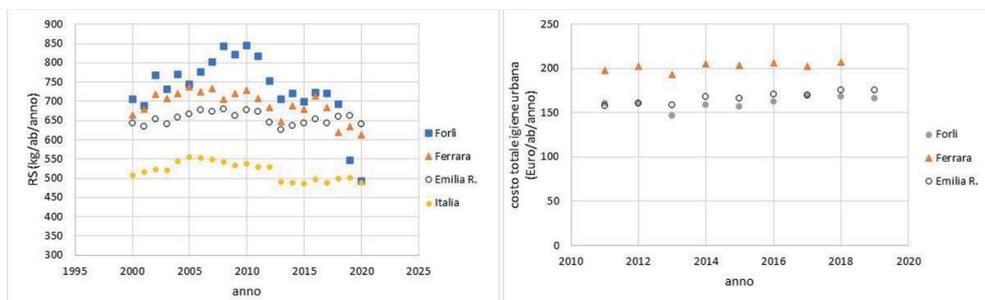


Fig. 2 – Produzione dei rifiuti pro-capite in Italia, in Emilia-Romagna e nei comuni di Forlì e Ferrara dall'anno 2000 al 2020 (a). Costo totale dell'igiene urbana (b).

Detti comuni presentavano, prima dell'adozione della TARIP, una produzione di rifiuti di gran lunga superiore a quella media della Regione Emilia-Romagna; in particolare il comune di Forlì aveva superato 850 kg/ab/d nel 2010 e cioè 118.167 t, quantità quasi doppia a quella media nazionale e maggiore di quella del comune di Ferrara. Successivamente la produzione pro-capite del comune di Forlì crolla nel 2018 a 634 kg/ab/d approssimandosi al valore medio regionale (663 kg/ab/anno) e raggiungendo nel 2020 i 613 kg/ab/anno (produzione totale di circa 57.828 t) quantità prossima alla media nazionale e di gran lunga inferiore a quella del comune di Ferrara. Tale andamento non è spiegabile con l'adozione della TARIP, atteso che è stata introdotta a partire dal 2019, né è in accordo con l'andamento nazionale e regionale; tale anomalia è dovuta probabilmente a più cause: la raccolta di rifiuti speciali delle attività produttive nei rifiuti urbani, la sovrastima della produzione dei rifiuti, il potenziamento del termovalorizzatore comunale da 60.000 t/anno di rifiuto da incenerire incrementato nel 2008 a 120.000 t/anno, il fenomeno dell'abbandono e, non ultimo, il trasporto dei rifiuti dai comuni vicini.

La produzione di rifiuti nel comune di Ferrara, se pur poco al disopra del valore regionale (+ 7%) non ha avuto lo stesso andamento del comune di Forlì, seguendo le stesse sorti di quella regionale fino all'adozione della TARIP nel 2018, che ha fatto registrare una leggera contrazione nella produzione dei rifiuti. Il dato si assesta al di sotto del valore medio regionale (-4,5%) e al disopra di quello nazionale (Fig.2). L'adozione del modello di misurazione puntuale ha consentito di ottenere benefici ambientali, in quanto ha incrementato la raccolta differenziata e ridotto l'indifferenziata:

- il comune di Forlì è passato dal 55,08% del 2018 al 82,38 % del 2020 della raccolta differenziata con una riduzione del secco da 310,99 kg/ab del 2018 a 86,75 kg/ab del 2020;
- il comune di Ferrara è passato dal 63,17 % del 2017 al 87,34 % del 2020 della raccolta differenziata con una riduzione del secco da 252,16 kg/ab del 2017 a 77,65 kg/ab del 2020.

Tali andamenti della raccolta differenziata si spiegano con presenza, negli anni antecedenti all'adozione della TARIP, degli inceneritori comunali nei due capoluoghi di provincia il cui funzionamento necessita dell'apporto delle frazioni ad alto potere calorifico.

Nel 2018 il comune di Ferrara ha affidato la gestione dei rifiuti (TARIP) con accertamento e riscossione della tariffa alla società Hera S.p.A. Il costo totale di gestione del servizio di igiene urbana (dati ISTAT) si è mantenuto, nel periodo antecedente all'adozione della TARIP, intorno a 200 Euro/ab/anno con valori più elevati rispetto al dato medio regionale mentre nel comune di Forlì il costo è risultato inferiore a quello regionale. Il prelievo pro capite per la TARI nel comune di Ferrara era di circa 229 Euro/ab/anno (periodo 2016-2017) mentre nel comune di Forlì era di 267-246 Euro/ab/anno (periodo 2016-2018). Successivamente all'adozione della TARIP non si hanno più dati in quanto il gestore non li ha pubblicati in forma esplicita, contrariamente a quanto sancito dalla Carta di Aalborg e dalla Convenzione di Aarhus e in contrasto con l'art. 198 del D.lgs 152/2006 (Fig. 2).

Nel comune di Ferrara le entrate correnti di natura tributaria contributiva e perequativa, per gli anni 2019-2021, rappresentano più del 60% delle entrate correnti (Fig. 3). Come si può notare dal 2018 al 2020 si registra una riduzione di circa il 10% rispetto al 2017, dovuta all'assenza della tassa sui rifiuti; anche l'autonomia finanziaria dal 2018 al 2020 ha subito un decremento di circa € 30.000.000. A partire dall'adozione della TARIP i costi per i cittadini sono diventati più aleatori. Il Comune di Ferrara nel 2021 ha deciso di riequilibrare le due percentuali relative alla quota fissa (calcolata in base ai metri quadri di abitazioni e aziende) e alla quota variabile della tariffa rifiuti, portandole rispettivamente dal 75% al 65% e dal 25% al 35% al fine di incentivare la riduzione dei rifiuti. Sui costi comunali comunque incide l'abbandono dei rifiuti fuori dai contenitori specifici, costi non coperti dalla tariffa. Come nel caso di Ferrara, l'autonomia impositiva del comune di Forlì dal 2019 tende a ridursi (Fig.3), per effetto della transizione alla TARIP, tariffa riscossa dal gestore del servizio ALEA AMBIENTE Spa, con una diminuzione di circa 25.000.000 Euro; la pressione tributaria diretta si riduce a 232 Euro/ab. In ambedue i comuni tale minore pressione è solo fittizia in quanto la tariffa è riscossa dal gestore e quindi entra nel bilancio della società.

Di contro il passaggio dalla TARI alla TARIP si traduce nei due comuni in una formale riduzione dell'Autonomia impositiva (fig.3). Con l'affidamento a un soggetto terzo del servizio entrambi i comuni hanno poi mobilitato parte del personale dell'Ufficio Tributi. Per i cittadini il passaggio a tale tariffazione non è avvenuto indolore: se nell'anno di applicazione della TARIP il costo è diminuito (fino al 12% nel comune di Ferrara) nell'anno successivo è aumentato con l'applicazione dei conguagli nella fatturazione del surplus di residuo secco conferito rispetto al minimo stabilito.

5. Conclusioni

Tra gli strumenti adottabili dagli enti locali per favorire la circolarità e sostenibilità dei rifiuti vi è la tariffa puntuale (TARIP), sollecitata dalla Direttiva europea 2018/851 CE; tale strumento si innesta nel panorama italiano in cui vi è già in atto una riduzione dei rifiuti dovuta a varie cause. È stata condotta un'indagine su due comuni, Ferrara e Forlì, nel periodo 2016-2020 per verificare l'impatto della TARIP. Con l'adozione della TARIP parte delle entrate coattive dei comuni vengono meno in quanto la tariffa si sposta dal bilancio comunale a quello della società di gestione. L'impatto della TARIP sugli utenti ha aspetti chiaro-scuri in quanto se nel primo anno di applicazione della tariffa base si è rilevata una riduzione della bolletta/fattura, nel secondo anno, a causa dei conguagli dovuti agli svuotamenti aggiuntivi, la bolletta è tornata a salire e ciò ha determinato un grande disagio nella popolazione, con la ripresa del fenomeno dell'abbandono dei rifiuti.

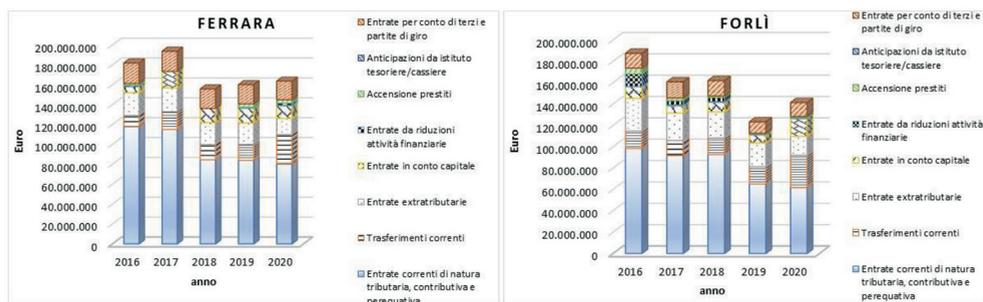


Fig. 3 – *Composizione delle Entrate del comune di Ferrara e Forlì nel periodo 2016-2020*

L'analisi ha evidenziato che con l'adozione della TARIP si è avuto un aumento della percentuale della raccolta differenziata e una diminuzione del residuo secco, in conflittualità con la termovalorizzazione diffusa sul territorio. Non sembra comunque registrarsi la sperata diminuzione dei rifiuti, anzi nell'Emilia-Romagna si è avuto un aumento pur essendo molti i comuni che hanno aderito alla TARIP. I dati relativi ai costi della gestione prima dell'adozione della TARIP sono a disposizione dei cittadini, mentre successivamente sono meno accessibili anche in considerazione del meccanismo di tariffazione su due annualità.

Bibliografia

- [1] **Ispra ambiente**, “Rapporto rifiuti urbani”. Ispra n.255 Roma, 2021.
- [2] **Frega G., Infusino E.**, “La raccolta dei rifiuti pericolosi”. Atti del 21° Corso di Aggiornamento Tecniche per la Difesa dall’Inquinamento. Ed. Bios,157-174, 2001.
- [3] **Istat**, “Rapporto SDGs, Informazioni statistiche per l’Agenda 2030 in Italia”. Roma, 2020.
- [4] **ASviS**, “L’Italia e gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile”, Rapporto. Roma. 2019
- [5] **Lizzi G., Laurenza L., Cavalli L.**, “Per un’Italia sostenibile: la leadership locale come motore dello sviluppo”. Fondazione Eni Enrico Mattei. Milano, 2018:
- [6] **Preglio S.**, “Giuda europea all’agenda 21. La sostenibilità ambientale: linee guida per l’azione locale”. Fondazione Lombardia per l’Ambiente. Milano, 1999.
- [7] **Donadio D.**, “La tariffazione puntuale dei rifiuti urbani. Principali norme di riferimento e modelli di gestione a confronto: TARI Tributo puntuale e TARI corrispettiva (TARIP)”. IFEL, Fondazione ANCI. Ascoli Piceno, 2019.
- [8] **Donadio D., Giacchetti W., Proia F., Venturi R.**, “La diffusione della tariffazione puntuale in Italia nel 2019”. Dipartimento Finanza Locale IFEL, 2021
- [9] **Frega G., Fallico C., Infusino E.**, “Qualità e quantità di RSU in aree omogenee della regione Calabria”. Collana del progetto strategico “Clima ambiente e territorio nel Mezzogiorno” CNR I° tomo, 636-661, 1996.
- [10] **Frega G., Infusino E.**, “Situazione attuale e prospettive per lo smaltimento dei rifiuti in Calabria”. Atti giornata di studio Lotta alle emergenze ambientali in Calabria. Quaderni di Idrotecnica n.10. Ed. Bios, 43-72, 1996.
- [11] **Frega G., Infusino E.**, “Attuali valutazioni sulle prospettive di produzione dei R.S.U. in Italia e in Calabria”. RS rifiuti solidi, n. 05, pp. 305-321, 2007.
- [12] **Infusino E.**, “Rifiuti urbani, ricchezza e anni della crisi”. Atti del convegno Tecniche per la Difesa dall’inquinamento. BIOS, Vol. 34, pp 671-689, 2013.
- [13] **Beccarello, M., Di Foggia, G.**, “Misurare gli obiettivi di economia circolare nei centri urbani, Classifica Italiana delle città più circolari e primi confronti a livello Europeo”. Milano, 2020.

L'economia circolare per la riqualificazione e l'innovazione dei mercati locali

Marino Cavallo, marino.cavallo@cittametropolitana.bo.it, Città metropolitana di Bologna

Riassunto

La Città metropolitana di Bologna è partner del progetto europeo Interreg SINCE-AFC volto a promuovere l'economia circolare nel settore agroalimentare. Nell'ambito del progetto, la Città metropolitana ha deciso di agire sulla rete dei mercati alimentari locali per analizzare buone prassi e necessità per ridurre rifiuti e sprechi e promuovere recupero e riciclo.

E' stata realizzata un'analisi che ha portato all'individuazione di possibili azioni da sviluppare nei mercati locali tra le quali: creazioni di una postazione di raccolta per le eccedenze alimentari, realizzazione di campagne informative sull'adozione di pratiche circolari, realizzazione di una app per la riduzione dello spreco alimentare e predisposizione di linee guida/regolamento tipo per lo svolgimento del mercato contadino come strumento utile ai Comuni per amministrare ed incentivare mercati che seguono i principi dell'economia circolare.

Summary

The Metropolitan City of Bologna is a partner of the European project Interreg SINCE-AFC aimed at promoting the circular economy in the agri-food sector. Within the project, the Metropolitan City decided to act on the network of local food markets to analyze good practices and needs to reduce rubbish and waste and to promote reusing and recycling.

An analysis has been carried out that led to the identification of possible actions to be developed in local markets including: creation of a collection station for food surpluses, carrying out information campaigns on the adoption of circular practices, creation of an app for the reduction of food waste and preparation of guidelines/ standard regulation for the development of the "peasant" market as a useful tool for municipalities to administer and encourage markets that follow the principles of the circular economy.

1. Introduzione

L'obiettivo principale del progetto europeo Interreg SINCE-AFC è quello migliorare le scelte politiche e di promuovere buone pratiche che supportino le PMI del settore agroalimentare nel processo di crescita e sviluppo, diffondendo i principi innovativi dell'economia circolare [1][2][3].

Il Progetto SINCE-AFC, avviato nel 2019, è coordinato da Anatoliki, agenzia di sviluppo greca. Le altre organizzazioni coinvolte sono: Regione della Macedonia Centrale (Grecia), Città metropolitana di Bologna (Italia), Università di Bologna (Italia), Hajdú-Bihar County Government (Ungheria), Donegal County Council (Irlanda), Regione Wielkopolska (Polonia), Agenzia di sviluppo regionale del South Muntenia (Romania), Comune di Devnya (Bulgaria). La Città metropolitana di Bologna ha scelto di concentrare una linea di azione specifica del progetto sulla rete dei mercati locali e sulle iniziative per favorire l'introduzione dell'economia circolare [4][5] nei mercati alimentari e rionali delle città e dei paesi.

Il mercato è il luogo, non solo fisico, ma anche figurato, ed il momento in cui vengono effettuati scambi commerciali. Il mercato ha la funzione di mettere in contatto compratori e venditori ovvero di consentire alla domanda di incontrare l'offerta.

Con mercati "locali" si intendono spazi nei quali avviene lo scambio di prodotti in un territorio ristretto, i mercati locali possono riguardare anche l'interazione tra produttori del territorio e i consumatori, mantenendo una filiera "corta" [6].

Per quanto riguarda il settore agroalimentare, i prodotti trovano naturale sbocco nei mercati contadini, ma generalmente sono presenti apposite sezioni dedicate alla vendita di tale tipologia di prodotti anche nei mercati cittadini e rionali.

2. L'economia circolare per la riqualificazione e l'innovazione dei mercati locali.

2.1 Analisi dei mercati nel territorio della Città Metropolitana di Bologna.

Analizzando:

- il documento di fattibilità "Verso il distretto biologico dell'Appennino Bolognese" [7], nel quale è presente un censimento dei mercati contadini nel territorio del Gruppo di Azione Locale (GAL) dell'Appennino Bolognese;
- l'elenco dei mercati contadini presenti su tutto il territorio della città metropolitana e nel Comune di Bologna riportato sui rispettivi siti internet;
- i siti internet di tutti i singoli comuni;

è stato possibile capire quali Comuni del territorio hanno solamente il mercato settimanale rionale, caratterizzato dalla presenza di diverse merceologie di prodotti, o anche mercati locali contadini, dedicati alla vendita diretta, da parte dei produttori della filiera agroalimentare. Il risultato della ricognizione, ha evidenziato che poco meno della metà dei Comuni (26 su 60) hanno un mercato contadino.

È stato possibile, inoltre, rilevare l'esistenza, per alcuni Comuni (Medicina, Calderara di Reno e Sasso Marconi) di appositi regolamenti comunali per la disciplina dei mercati contadini sui propri territori, con la normazione della tipologia di produttori, delle categorie merceologiche commerciabili, delle attività possibili, nonché della costituzione del comitato di gestione del mercato.

2.1.1 Una buona pratica: il mercato ritrovato di Bologna.

Tra tutti gli esempi di mercato locale contadino, il mercato ritrovato è stato individuato come buona pratica di riferimento nell'ambito del progetto SINCE – AFC. Si tratta di un mercato contadino che è attivo dal 2008 e si svolge alla Cineteca di Bologna. I produttori che partecipano vendono prodotti locali e di stagione, direttamente e a prezzi equi, sottoscrivendo uno stretto disciplinare. Ad oggi sono coinvolti circa 60 produttori locali. Il mercato ritrovato è anche luogo di laboratori ed eventi: dalla preparazione della sfoglia alla battitura del ferro, diffondendo, quindi, conoscenza e buone pratiche, oltre che pubblicizzare i propri prodotti. Tutto al mercato ritrovato è pensato per massimizzare i risultati e ridurre gli sprechi: il cliente deve ordinare online la propria spesa tra il lunedì e il giovedì mattina per ritirarla in presenza il sabato mattina tra le 11.00 e le 13.30. Può anche scegliere di avere una spedizione a domicilio a Bologna e comuni limitrofi o presso una delle sedi dei diversi produttori associati. È possibile anche la spedizione nazionale refrigerata ma a costo più elevato e quindi probabilmente antieconomico.

Il mercato ritrovato ha un disciplinare molto stringente: possono vendere solo i produttori (o i loro familiari o dipendenti coinvolti nel processo produttivo) e solo merci che hanno prodotto loro stessi attraverso processi tradizionali e rispettosi dell'ambiente. Non è vincolante il possesso di certificazione di agricoltura biologica, ma è vietato l'uso di ogm. I produttori

devono essere locali, ovvero rientrare nella città metropolitana di Bologna o comunque non distare oltre i 40km dalla sede del Mercato. Per quanto riguarda la gestione dei rifiuti, si incentiva la prevenzione della produzione dei rifiuti, confezioni primarie in vetro o metallo e l'uso di imballi riciclabili, a basso impatto ambientale e non superflui. Per ogni tipologia di prodotto sono presenti una serie di regole da rispettare in merito al tipo di trattamenti concessi (es. microfiltrazione, modalità di raccolta e/o allevamento) o alle materie prime da poter utilizzare.

Il mercato ritrovato è pertanto un luogo nel quale si realizzano buone pratiche di economia circolare, i prodotti in vendita provengono da una produzione primaria attenta alla preservazione dell'ambiente, essendo priva di ogm e in buona parte di tipo biologico, sono utilizzati imballaggi riciclabili e riutilizzabili e laddove non possibile, biodegradabili e compostabili. Inoltre, i produttori, alla fine del mercato, portano indietro gli eventuali scarti nelle proprie aziende per poterli trasformare in compost e usare come ammendanti nelle proprie produzioni.

2.2 Possibili azioni di economia circolare da sviluppare nei mercati locali del territorio di Città Metropolitana di Bologna.

La prassi operativa dei mercati locali solitamente non è quella adottata dal Mercato ritrovato di Bologna.

Spesso la vendita dei prodotti agroalimentari, bio e non solo, non avviene direttamente dai produttori bensì dai rivenditori. È sufficiente frequentare una piazza qualsiasi al termine della giornata mercatale per rendersi conto che la quantità di rifiuti prodotti, sia per quanto riguarda gli imballaggi, sia per quanto riguarda gli scarti alimentari è davvero ingente e comporta non solo impatti ambientali legati alla produzione di tali sprechi, ma anche notevoli costi alla collettività per la loro raccolta e avvio a recupero o smaltimento.

Per capire come sono organizzati i mercati locali, come avviene la gestione dei rifiuti e se sono attive buone pratiche per la riduzione della produzione dei rifiuti e dello spreco alimentare è stato sottoposto ai referenti delle associazioni responsabili un questionario di richiesta dati. Dall'elaborazione di queste informazioni sono scaturiti spunti e stimoli, per individuare proposte e linee di azione per innovare l'organizzazione dei mercati locali e favorire l'introduzione dell'economia circolare nella gestione delle attività:

- Creazione di una postazione di raccolta per le eccedenze alimentari.

L'azione ha come obiettivo quello di mettere in comunicazione i produttori e/o rivenditori presenti nei mercati locali con le associazioni no profit, affinché i prodotti che a fine giornata mercatale non sono più vendibili, benché commestibili, in quanto non hanno più un aspetto accattivante, possano essere donati piuttosto che gettati come rifiuto organico. Per sviluppare tale azione sarebbe opportuno, come prima fase, procedere con un monitoraggio periodico delle tipologie di prodotti e dei quantitativi che potrebbero essere donati, per capire quali potrebbero essere le destinazioni preferibili. Se, ad esempio, i prodotti oggetto di donazione sono prevalentemente prodotti da cucinare a breve, probabilmente il soggetto da coinvolgere dovrebbe essere l'associazionismo legato alle mense dei poveri, se si tratta invece di prodotti già cucinati, la destinazione finale potrebbero essere altre tipologie di strutture assistenziali. Qualora la fase di analisi iniziale desse esito positivo, dovrebbe essere creato un punto di conferimento in orario da concordare tra i diversi soggetti, all'interno della stessa area di mercato, dove radunare tutti i prodotti e presso il quale può essere fatta la cessione all'associazione destinataria. Ovviamente tutto il processo deve essere corredato della idonea documentazione (documento di trasporto) necessaria anche per riconoscere ai donatori gli sgravi TARI e fiscali ai quali hanno diritto. Questa azione, in presenza di idonei finanziamenti e supporto da parte del comune di Bologna potrebbe essere realizzata in modo più complesso, mediante

la realizzazione di un hub di quartiere, sul modello del progetto realizzato nel comune di Milano [8]. Qualsiasi soluzione va, in ogni caso, progettata in modo specifico nelle diverse realtà mercatali.

- Realizzazione di campagne informative sull'adozione di pratiche circolari per gli ambulanti. Nell'ambito di tale azione si prevede la realizzazione di campagne informative, con la realizzazione di opuscoli, locandine e/o incontri dedicati, rivolti agli ambulanti.

Tali strumenti saranno rivolti alla promozione, ad esempio, di:

- uso di imballi riutilizzabili e/o certificati,
- incentivazione della vendita di prodotti a filiera corta e possibilmente biologici,
- corrette modalità di separazione alla fonte e conferimento dei rifiuti.

La campagna, soprattutto per quanto riguarda la gestione dei rifiuti, andrebbe concertata con il gestore del servizio pubblico di raccolta, in modo tale che l'attività di separazione sia facilitata anche da un sistema di raccolta dei rifiuti adeguato (es. disponibilità di punti di conferimento dei rifiuti separati sufficiente).

- Realizzazione di una App per la riduzione dello spreco alimentare.

In analogia con le esperienze analizzate nelle buone pratiche, una delle azioni di piano potrebbe consistere nella predisposizione di una App di progetto che consenta di mettere in comunicazione ambulanti e produttori dei mercati locali e regionali con i consumatori per la donazione, o vendita a bassissimo costo, dei beni deperibili a fine giornata.

- Predisposizione di linee guida/regolamento tipo per lo svolgimento del mercato contadino.

L'azione ha come obiettivo quello di creare uno strumento utile ai Comuni per la redazione di un proprio specifico regolamento comunale per lo svolgimento di mercati contadini sul proprio territorio, con lo scopo di facilitarne e incentivarne lo sviluppo e la diffusione. Nei regolamenti potrebbe essere valutata/analizzata anche la possibilità di trasformare in loco i prodotti della filiera "corta".

Alcuni dei vantaggi possibili generati dall'attuazione di tali azioni sarebbero, ad esempio:

- risparmio sui costi generali associati alla gestione dell'evento;
- riduzione della produzione di CO2 dovuta al minor utilizzo dei mezzi dedicati alla pulizia;
- risparmio sul consumo di carburante fossile, nonché sull'acqua usata nei lavaggi delle aree del mercato e dei mezzi di raccolta e spazzamento;
- maggior impatto economico ed etico-sociale nei luoghi di origine dei prodotti venduti;
- grande produzione di materie-seconde pronte per essere recuperate e riciclate, riducendo i legami allo smaltimento dei materiali raccolti;
- creazione di un bene sociale, in relazione alla donazione dei prodotti di scarto ad associazioni caritatevoli;
- con l'implementazione dei repair café, riduzione della produzione dei rifiuti, riparando prodotti rotti, incremento dell'occupazione e delle occasioni di socializzazione.

Per gli ambulanti attivi nella realizzazione delle azioni dovrebbe essere auspicata una riduzione della tariffa per il servizio di igiene urbana dovuta al Comune.

2.3. Una base per lo sviluppo di Linee guida per i mercati locali.

Per poter costruire una proposta strategica omogenea utile ad una Città Metropolitana, in particolar modo a quella di Bologna, ha senso guardare a quanto emerso dall'analisi realizzata e alle lezioni apprese/buone pratiche che possono essere mutate o da cui possono essere estratte informazioni utili che possano essere riportate in strumenti amministrativi o di governance.

Innanzitutto, la creazione di una strategia "ombrello" di scala ampia e con una profondità temporale che consenta di programmare diverse misure o azioni e di elaborare ed applicare strumenti di tipo amministrativo. In questo senso, la scala metropolitana (e, più in generale,

quella sovralocale come le Unioni di Comuni) può essere considerata un asset proprio per la sua dimensione e per la posizione intermedia di traduzione delle politiche nazionali e regionali alla dimensione locale e comunale.

Un esempio di strategia è ad esempio il modello della Food Policy del Comune di Milano [9], anche se riguarda solo alcuni degli aspetti trattati dal progetto SINCE-AFC perché limitata solo alla gestione del rifiuto organico e degli imballaggi.

È interessante invece la raccolta di misure rispetto ai mercati locali, mantenendo come riferimento la dimensione del Biodistretto, estremamente interessante sia perché di dimensione sovralocale, sia perché costituisce un partenariato territoriale con degli obiettivi chiari e definiti. Rispetto ai mercati locali, e in particolare rispetto all'applicazione di un approccio circolare, le principali osservazioni che possiamo fare riguardano delle misure molto pratiche:

- costruzione di un regolamento omogeneo a livello comunale che sia il riflesso di un regolamento più generale a livello di Distretto o Unione di comuni, che supporti i singoli regolamenti comunali e li coordini rispetto ad un modello comune, come potrebbe essere quello proposto dalla Città Metropolitana di Bologna. In questo senso, anche la costruzione di dispositivi come delle delibere standard che ciascun comune possa poi adattare alle proprie esigenze. I contenuti minimi di questi regolamenti dovrebbero prevedere:

- per quanto riguarda la frazione organica, è importante il recupero di tutto quello che è possibile donare, lasciando il conferimento a digestori o a forme di riciclo organico per varie finalità tutto quanto non sia possibile consumare;

- per quanto riguarda la frazione inorganica, risulta importante la creazione di isole ecologiche o aree di raccolta per la raccolta differenziata, di pari passo con la formazione degli esercenti e la loro sensibilizzazione alle tematiche della sostenibilità e della circolarità. In parallelo, la formazione dei dipendenti della PA e dei tecnici e Pubblici Ufficiali (ad esempio, i responsabili degli uffici SUAP);

- facilitare l'ottimizzazione delle filiere e orientare i mercati verso l'approccio di filiera corta. Uno degli strumenti più interessanti potrebbe essere l'Accordo o Contratto di Filiera [10], per il quale la PA potrebbe essere garante territoriale e facilitatore tra i produttori, i rivenditori e i consumatori finali. Questo tipo di accordi potrebbe semplificare l'entrata dei piccoli produttori nei mercati locali e, contemporaneamente, facilitare l'accesso delle parti più deboli e meno rappresentate a forme di finanziamento strutturali come i PSR o i bandi dedicati.

Ruolo della Pubblica Amministrazione è quindi quello di facilitatore, pur essendo il principale regolatore locale. Alla scala metropolitana, tuttavia, può svolgere un ruolo di supporto tecnico supplendo alle mancanze che i comuni minori possono avere rispetto alle competenze tecniche o alle opportunità di accesso e gestione di fondi. Ad esempio, la PA locale può facilitare l'accesso a fondi, incentivi o finanziamenti per aziende singole, ricevendo a sua volta un supporto strategico e tecnico da parte di una struttura sovraordinata come la Città Metropolitana, che potrà agire da aggregatore di partner e di esperienze, raccogliendo attorno a sé quella massa critica di attori più piccoli che presi singolarmente non avrebbero un peso o una categoria aziendale di rappresentanza.

Il ruolo delle strutture sovralocali, come le Unioni di Comuni o i Distretti, può essere quello di realizzare quei progetti e quelle attività di promozione locale che traducono le strategie sovralocali e che, nel caso particolare, potranno passare anche attraverso la creazione di mercati, fiere o feste che abbiano caratteristiche di aggregazione e mutualità. Il ritorno in termini di benefici per la Pubblica Amministrazione locale e sovralocale non riguarderà più solo lo sviluppo economico e del tessuto aziendale locali, ma anche la creazione di spazi di socialità e condivisione, che migliorano anche il riconoscimento dell'identità locale.

La creazione di policies e di linee guida strategiche, anche in modo partecipato e con tavoli multiattoriali, consente di avere una base da cui è più facile partire anche per sottoscrivere

accordi di Partenariato Pubblico-Privato. I Comuni e la PA in generale può quindi avere un ruolo di attivatore e di coordinatore tra le diverse azioni che si svolgono sul suo territorio, facendosi contemporaneamente garante per quelle realtà che si propongono di migliorare il proprio impatto, costruendo un processo di ascolto e un dialogo tra domanda (bisogni) e offerta (di servizi e materie).

Tra i dispositivi e gli strumenti che possono essere utilizzati per questo tipo di azioni, ci sono certamente gli accordi tra Ente Pubblico - Terzo Settore – Enti Privati. Tra gli attori da coinvolgere in questa tipologia di accordo ci sono gli enti e le associazioni che organizzano e coordinano i mercati, anche come attori garanti della trasparenza e dell'aderenza dell'offerta ad una carta etica di qualche tipo, sancita e condivisa con la Pubblica Amministrazione.

Lo sforzo di dialogo con il territorio ed i suoi diversi attori è importante, tuttavia non sempre facile da portare avanti, anche date le scarse risorse dei Comuni. In questo, la forza di una Unione o di un Distretto può essere proprio quella di supportare progetti e attività, a partire dalla costruzione di una chiara conoscenza del territorio e dei suoi attori, che consenta l'analisi e mappatura reale e concreta dello stato di fatto.

3. Conclusioni

In conclusione, si presentano alcune proposte operative per la riqualificazione e l'innovazione dei mercati locali, secondo i principi dell'economia circolare:

- una proposta di lavoro operativa e facilmente cantierabile potrebbe riguardare la costruzione di un tavolo di lavoro multiattore per la co-progettazione di azioni comuni e di regolamenti nuovi, che possano innovare la governance dei mercati spontanei a filiera corta, anche approfittando delle opportunità offerte dai contratti di filiera;
- facilmente implementabile è anche la costruzione di programmi di formazione dei tecnici della PA, per rinforzare la loro capacità di utilizzare gli strumenti amministrativi sulla rotta dei PAESC, facilitando così a livello locale una innovazione anche della governance della sostenibilità e della transizione ambientale;
- già parzialmente realizzate sono alcune azioni che, a supporto dello sviluppo locale, consentono alla PA di mettere a disposizione dei cittadini e delle aziende che ne abbiano bisogno alcuni beni o servizi in condivisione, nella più classica delle interpretazioni mutualistiche della *sharing economy*;
- necessaria e immediatamente concretizzabile la costruzione, con l'aiuto tecnico amministrativo della Città Metropolitana, di regolamenti e strumenti amministrativi come formule di patrocinio a quelle aziende o a quei progetti che sono particolarmente virtuosi, o creando formule standard di inserimento di criteri di sostenibilità nell'ambito dei capitolati delle gare per l'affidamento di forniture ai privati, aprendo anche alle sinergie con il terzo settore.

Bibliografia

- [1] White paper *Economia Circolare – verso un nuovo paradigma produttivo*, TÜV Italia, 2020
- [2] AA. VV. BIT – *La Bioeconomia in Italia. Un'opportunità unica per riconnettere ambiente, economia e società*, 2020 https://cnbbsv.palazzochigi.it/media/1767/bit1_it.pdf
- [3] *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*. COM/2020/98 final, 2020
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2020%3A98%3AFIN>
- [4] Cavallo M., Cencioni D., *Circular economy. Benefits and Good Practices*, Milano, Edizioni Ambiente, 2017.
- [5] Bompan E., *Che cos'è l'economia circolare*, Milano, Edizioni Ambiente, 2021.
- [6] Patti D., Polyak L., Torresan M. *Il rilancio dei mercati. Spazio Pubblico, servizi comunitari ed economia circolare*, Cooperative City Books, Vienna, 2019

- [7] <https://progettodistrettobio.bolognappennino.it/pubblicato-lo-studio-di-fattibilita/>
- [8] **AA.VV.** *Economia circolare del cibo a Milano*. Edizione settembre 2020. Està. 2020
- [9] <https://foodpolicymilano.org/>
- [10] <https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/18066>

Technical aspects in the evaluation of offshore CO₂ storage in depleted levels of hydrocarbon

Romualdo Marrazzo romualdo.marrazzo@isprambiente.it, Francesco Astorri, ISPRA, Roma

Riassunto

L'articolo è volto a rappresentare l'attività di valutazione tecnica svolta dall'ISPRA sull'esame del programma sperimentale per lo stoccaggio geologico di anidride carbonica nei livelli esauriti di un campo in concessione per la coltivazione di idrocarburi offshore, situato nel Mar Adriatico. Partendo dalle norme di riferimento, viene descritto il programma di sperimentazione, focalizzando l'attenzione sulla valutazione dei rischi rilevanti per l'ambiente e la salute. La discussione si conclude con una serie di valutazioni sui punti di forza di questo impianto sperimentale, proponendo alcune richieste di ottemperanza impiantistiche e di monitoraggio, sulla base delle criticità evidenziate durante la valutazione tecnica.

Summary

The article is aimed at representing the activities of technical evaluation carried out by ISPRA on the examination of the experimental program for the geological storage of carbon dioxide in the depleted levels of an offshore hydrocarbon cultivation concession field, located in the Adriatic Sea. Starting from the reference standards, the experimentation program are described, focusing attention on the assessment of the relevant risks for the environment and health. The discussion ends with a series of assessments about the strengths of this experimental installation, while proposing some plant and monitoring requirements, based on the critical issues highlighted during the technical evaluation.

1. Introduction

The capture and storage of carbon dioxide (CO₂), so-called “Carbon Capture Storage” (CCS) represents one of the tools for reducing atmospheric emissions. Following the new targets for reducing greenhouse gas emissions, the European Union has adopted more stringent emissions reduction targets. This has led to an increase of interest of various operators on CCS technology with numerous projects, concerning the capture of CO₂ in coal and natural gas power generation plants, and the processing and production of chemical products. As part of the experimental program for the geological storage of carbon dioxide in the depleted levels of a field in concession for the cultivation of offshore hydrocarbons, carried out by multinational company operating in the oil & gas sector (Operator) and located in the Adriatic Sea in Italy, a technical evaluation activity was carried out by a specific Technical Working Group (TWG), within ISPRA, in charge of supporting the CCS (Carbon Capture Storage) Technical Secretariat of the Italian ETS (Emissions Trading System) Commission, according to the scope of application of Legislative Decree no. 162/2011 [1].

2. Report

2.1 The experimental project

2.1.1 Description of activities and new installations

The experimental project presented by the Operator, as shown in the following Figure 1, provides for: 1. Casalborsetti CO₂ capture plant: sized to capture and treat the CO₂ present in the exhaust fumes of one of the 4 existing Turbocompression units located within the Casalborsetti on - shore power plant area (an area of 44,900 m² to the north of Ravenna, consisting of a Natural Gas compression and treatment plant). The nominal size of the capture plant will be approximately 25,000 tons of CO₂ per year; 2. Compression and CO₂ reception station in Casalborsetti: the Casalborsetti plant provides for the compression of the captured CO₂ for sending to the pipeline. Also included in the experimental program is a system for receiving CO₂ from tankers, storage, pressurization and vaporization (initially foreseen but later abandoned); 3. CO₂ transport and injection system: a new 4” line will be built inside an existing gas line with a “pipe in pipe” system, for the transport of CO₂ from the Casalborsetti station to the existing offshore platform and the permanent injection of CO₂ into the reservoir (located in the Adriatic Sea); 4. CO₂ Storage Fields: the platform will be adapted and will house the necessary equipment in order to allow the reception and subsequent injection of CO₂, without any impact on the current gas production of the field; 5. CO₂ monitoring system: a well, micro-seismic, soil deformation and environmental monitoring system will be created. The selection of materials for the CO₂ service is functional to the water content, for the corrosion phenomena.

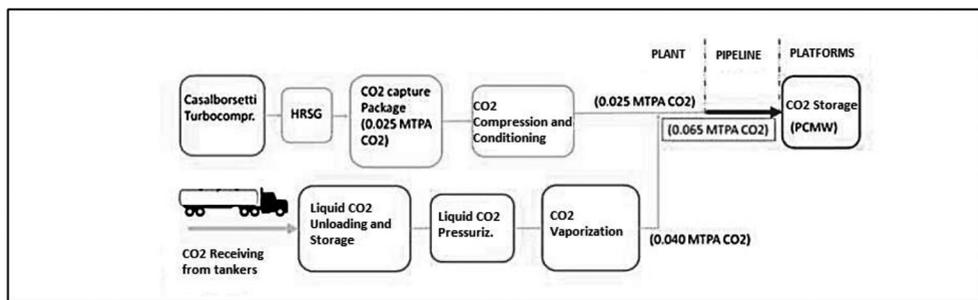


Fig. 1 – New Plant scheme

2.1.2 On-shore auxiliary and process units

The interventions relating to the new plant will be carried out by the Operator in order to guarantee the operational continuity of the Casalborsetti plant and the planned production capacity. As regards the safety aspects, the following investigations were conducted by the TWG on the main units that make up the new installations: 1. Hydrogen storage. The unit consists of two packs of two hydrogen cylinders, inside the CO₂ dehydration package. In any case, the storage will be carried out according to the technical data sheets of the substance, at ambient temperatures, in suitable and adequately ventilated areas and away from sources of heat, ignition and electrical discharges; 2. Chemicals. As regards chemicals, these are substances generally used in natural gas treatment plants, i.e. oxygen scavengers, pH neutralizers, amines, caustic soda; 3. Vent system (cold spark plug). The vent system will work together with a blocking and isolation system which, by means of block valves, will be able to isolate

the different process units or equipment. For all the simulated scenarios there are no fallout of the CO₂ concentrations at the monitored thresholds.

2.1.3 New installations in the pipeline

As part of the experimental project, the Operator provides for the transport of CO₂ between the Casalborgorsetti plant and the PCWC platform, through the reuse of existing pipelines in order to minimize environmental impacts and avoid new occupations of the subsoil. The new connection can be divided into the following four sections, a brief description of which is given below: Section 1: Onshore pipeline approximately 1.5 km long which starts from the Casalborgorsetti gas plant up to the shoreline (guide tube: 20"); Section 2: Pipeline approximately 7.3 km long which starts from the shoreline and reaches the vicinity of the PCWT platform (guide tube: 20"); Section 3: Pipeline approximately 1.5-2.5 km long which extends from the vicinity of the PCWT platform to the foot of the PCWC platform; Section 4: ascent and transit on the PCWC.

2.1.4 New installations on the platform

For the new CCS plant in Casalborgorsetti, the Operator provides for the dedicated transport of CO₂ through a 4" pipeline which will connect the Casalborgorsetti plant to the existing platform. The installation of the new CO₂ injection equipment is planned on the platform.

As regards the Electro-Instrumental Engineering, the following additions and modifications are foreseen within the project: Measurement package to measure the total CO₂ flow injected into the well; Installation of SDV block valve and relative local panel; New wellhead equipped with specific automatic valves for CO₂ reinjection; Control and safety instrumentation and associated systems; CO₂ detection systems and related connections; Multi-cable installation of instrumentation. In-depth analyses were carried out by the TWG on the management of the emergency: all new signals, measurements, controls related to the process, valve status and environmental sensors related to the platform will be remoted to the ground.

2.1.5 Main changes to existing plants

At the Casalborgorsetti plant, the Operator has made the following process changes to the existing plants: Existing turbochargers; Launch traps; Demi water and drinking water circuit; Drains. With regard to the safety aspects inherent to the aforementioned interventions, the design criteria identified for the tie-in to the chimney (turbochargers) are highlighted. The design of the heat recovery system, as well as of the downstream system, must have the objective of minimizing the back pressure imposed on the machine, in order to limit the impact on the performance of the compression train. For this purpose, an exhaust fumes blower will be installed inside the capture package. All the changes introduced to the chimney and to the logic must not introduce new danger scenarios. The deviation of the fumes towards the new system must be designed in such a way as to guarantee the possibility of keeping the Turbocharger in operation both in the event of an emergency stop of the capture system and in the event of a stop of the capture system for maintenance, exploiting the old chimney as a "by-pass" chimney. As regards the modifications to the pipeline, there will be the opening, sectioning and removal of some portions of the existing 20" pipeline in correspondence with the curves in the land section, the pulling areas in the coastal area, the areas of insertion near the platform. With regard to the changes introduced to the chimney, with specific regard to the operating logic and possible block, in the event of an anomaly, investigations were conducted by the TWG which confirmed that there are no additional danger scenarios and releases that affect the existing system.

2.2 Evaluation of the effects of accidental CO₂ releases

2.2.1 Preliminary assessments on the marine ecosystem

The analysis of the entire system, conducted by the Operator, led to the study and evaluation of hypothetical and exemplary accidental releases of CO₂ along the pipeline (pipeline leak) connected to the transport phase. The project variant taken into consideration (as well as the one of greatest interest) envisages a stretch of pipeline without interruptions, from the shore to the platform, with a length of approximately 11 km. The two hypotheses consist of: 1. A worst case that concerns the complete rupture of the pipe (pipe break) which would open an exit path for the CO₂ with a section equal to the diameter of the pipe, that is 4"; 2. A mild case that would occur with a minor leak (pipe leak) in the vicinity of a flange (cautiously considered a weak point), for example, due to a slow corrosion that would lead to the creation of an exit route, arbitrarily established by the measure of 1". As for the Pipe Break, it is to be considered exceptional as it is associated with an external factor that causes its complete break (in the form of truncation or tearing). With regard to Pipe Leak, a less drastic scenario, it develops around the hypothesis, albeit unlikely, of a small perforation of the pipeline due to wall corrosion. On the basis of the analyses performed and the considerations set out, the effects associated with a hypothetical and accidental release of CO₂ from the conduct on the analysed receptors is to be considered negligible, both for the limited range of interest, and for the limited exposure time to which it subjects the receptors.

2.2.2 Preliminary health and environmental assessments

Following the preliminary assessments on the effects of accidental CO₂ releases on the marine environment, the Operator proceeded to evaluate the releases in the plant. It is important to remember that CO₂ is asphyxiant in high concentrations and contact with liquid phase can cause frostbite. In high concentrations, CO₂ rapidly causes respiratory failure: symptoms are headache, nausea and vomiting which can lead to unconsciousness [2]. For the Risk Analysis the Operator defines the DTL (Dangerous Toxic Load) to evaluate a particular level of damage in the population as a function of the concentration in the air and duration of exposure: SLOT (Specified Level Of Toxicity); SLOD (Specified Level Of Death).

The results of the releases in the plant are as follows: 1. Capture & Compression - Gas phase releases: The threshold values of SLOT (Specified Level Of Toxicity - Dangerous Toxic Load) and SLOD (Specified Level Of Death - Dangerous Toxic Load) and 40000 ppm (discomfort) are not reached for persistence times required to cause damage to operators, since the releases have a short duration; in terms of lowering the temperature, the phenomenon is limited to a few meters from the breaking point; 2. Pipeline – onshore section: Total breakages 4" (simulated underground pipeline): the SLOT and SLOD values are not reached for the relative exposure times considered. 1" hole (conservative simulation with non-buried pipeline): the SLOT and SLOD values are reached within about 10 meters. The cloud covers an area that tends to be rural or in any case with a low population density. In the stretch where there is an area already destined for tourist use (camping), a preliminary risk estimate was also conducted which is less than 10⁻⁶ev/year and therefore acceptable; 3. Pipeline - offshore section (Precautionary case not considering the solubility of CO₂): Maximum reduction in sea density of the order of 1%: no problems related to the stability of the vessels are expected; The SLOT and SLOD values are reached for distances of about 10 m near the pipeline. Discomfort values (i.e. 40000 ppm) reached only in the first 5 minutes, within an area of 200 meters; 4. Platform: SLOD and SLOT values are not achieved in any of the platforms; the discomfort values (i.e. 40000 ppm) are reached around the release point, guaranteeing an escape route that is always free. Thermal effects: the results are acceptable and will be investigated with a dedicated CFD

study, capable of identifying the temperature profiles inside the structures in order to verify whether dedicated protection / shielding may be necessary.

2.3 Corrective prevention and protection measures and related safety plans

2.3.1 Instrumentation and automation

The general design philosophy of the Operator is aimed at making the new plant as independent as possible from the existing plant. The Integrated Control and Safety System (ICSS) will be designed as a new system, consisting of: PCS (Process Control System), which will manage the process control; SIS (Safety Instrumented System), which will manage the new safety locks and the part relating to smoke, fire and gas detection.

The ICSS will perform supervisory functions, control and safety functions, and will provide operators with the ability to manage the various plant units in an agile and continuous manner. The PCS must be able to provide the following functions: Control and monitoring of plant processes and auxiliary services; Communicate with third-party control systems, to allow a complete overview of these, allowing control from existing operator stations; Manage all alarms (process and system) through visual and sound activation, recording and logging, reporting (generic print and event report in sequence “SOE - Sequence of Event report”).

The SIS is the control system that returns the process to a safe state from conditions that could be dangerous or could possibly give rise to a danger if no action is taken. This system performs the safety instrumented functions (SIF) by acting to prevent the danger or mitigate its consequences.

The F&G system will provide the following functions for the new CCS plant: Detect flammable gases and fires that could compromise the safety of personnel, cause damage to the system and the environment; Interface with third-party control systems, for emergency stop of equipment where required; Interface with the ESD (Emergency Shut Down) system for the system blocks, and with the telecommunication and security systems for the activation of acoustic / visual alarms; Allow a total control and view of the plant to the operators, from the operating station (HMI). With regard to the Human Machine Interface (HMI), all the information required by the operators, whether it be for monitoring, alarming, displaying, archiving control or system protection, etc., must be viewable through the ICSS operator interface.

2.3.2 Fire-fighting system and fire / gas detection system

The CCS plant will have CO₂ as its main fluid, therefore the Operator has not foreseen any increase in the fire risk for the existing plant. Where necessary, the new active fire protection systems will be integrated, after verification, with the existing fire protection system and engineered in order to minimize the risk and consequences of a possible accident, while ensuring the operating conditions that are as intrinsically safe as possible for the new installation and for the system in which it is inserted. Preliminarily, it is expected that the following devices will be integrated / installed: suppression systems for electro-instrumental cabinets; portable and wheeled fire extinguishers; water and / or water / foam systems.

The Fire & Gas (F&G) system was engineered by the Operator on the basis of the substances present in the CCS plant and on the new fire scenarios. It is planned to install: smoke detectors inside the electro-instrumental cabinets; H₂ detectors in battery rooms; asphyxiating, toxic and / or flammable gas detectors where necessary; heat and / or flame detectors where necessary; MCP (Manual Call Point); Sirens and flashing lights.

2.3.3 Electrical systems and civil structures

The Operator has foreseen that, for the electrical systems serving the new equipment, the

power distribution, the protection system of the electricity network, the earth network and equipotential system, the lighting system, UPS and emergency systems are included. The design and construction of electrical systems will be based on the philosophy of designing a functional and efficient electrical network and guaranteeing the maximum safety of the systems. Since it will operate in an operational plant, it will be of fundamental importance to study solutions to minimize interference with existing plants and avoid service interruptions. The new installations and related earthing system will be interconnected to the earth network of the Casalborgorsetti plant and the existing grid will be integrated with both new horizontal and vertical earth electrodes and with new manifolds, maintaining the same philosophy and grid dimensions as the existing one.

With regard to the supply of electricity, and the necessary adjustments to the needs of the new plants for greater available power, the TWG has examined the aspects of safety management in the event of an electricity blackout and the related plant and management implications on the new on-shore and off-shore installations. With regard to the management of emergency stops due to blackout scenarios, for ground installations relating to the CCS system, it is envisaged that, in the event of a power failure from the grid, the system will be completely de-energized (unless vital loads under UPS) proceeding to a safe stop. Similarly, in the event of an off-shore blackout on the platform, the plant will be secured automatically and without the need for depressurization.

With regard to the safety aspects in the construction of civil works and structures, the floorings, to be made of concrete in areas where leaks or spills of pollutant liquid (typically oil from pumps, etc.) may occur, have been carefully considered by the Operator. Adequate anti-acid coating will be provided where necessary in areas close to chemical additive systems. In relation to this, the TWG investigated the possible scenarios for the release of dangerous substances on the ground, with the related areas and basins concerned, for the purpose of the correct perimeter and connected waterproofing covering of these.

The drainage system of the capture plant envisaged by the Operator can be schematized through: drainage of the capture unit containing amine; dispatch of the acidic water of the plant; dispatch of the HRSG (heat recovery steam generator) purge water; collection of rain-water from areas not contaminated as well as from areas potentially contaminated by dangerous chemicals, for subsequent treatment and disposal using suitable means for transport.

2.3.4 Emergency management flows on the platform

The Operator has reported a series of diagrams relating to the emergency management flow, for the Drilling / Workover / Completion / Simultaneous phases, also for the purpose of coordinating the parties operationally involved in the Site, differentiating them into: 1st level found externally; 2nd level; 3rd level; Civil protection emergency. In particular, the TWG conducted in-depth analysis of the emergency management aspects, on the basis of the flow diagrams identified, with the relative support of procedures and operating instructions, in terms of men, means, methods, systems, etc. (general site emergency plan), also with reference to the reports of real emergency drillings and training sessions conducted by the Operator on the existing natural gas compression station and platform.

3. Conclusions

At the conclusion of the analysis conducted by the ISPRA TWG, a series of considerations and criticalities, in terms of safety management, emerged from the technical assessment of the project are reported below. These elements, connected to the risk analysis and emergency management, resulted in particular in requests for compliance, for the Operator, for the construction of this experimental CO₂ capture plant [3]:

- In light of the results of the simulations following the releases of the various plant sections, it is necessary that: the emergency plans will be updated taking into account the Pipeline (off-shore) and Platform sections (achievement of SLOT, SLOD and discomfort values); a CFD (Computational Fluid Dynamics) study will be carried out, in order to identify any protections / shields for all sections of the system affected by thermal effects, following the release of CO₂, on the platform.
- Starting from the methods of inspection, on the pipeline, of the corrosion mechanisms, also with reference to the implemented asset integrity management procedures, the specific procedures and / or operating instructions for controlling the losses along the CO₂ transport pipeline will be made available. These methods must be based on the continuous control of the process variables (pressure and flow rate), with specific attention to the management method in the event of malfunction or anomaly or failure, with the consequent blocking logic and management of the foreseen emergencies.
- On the basis of the methods and types of waste produced following activation of the drainage system of the capture plant, the types of liquid effluent produced will be characterized, from the point of view of the characteristics of environmental hazard and / or flammability and / or of toxicity.
- 2nd level emergency drillings will be scheduled and carried out such as to include all the accident scenarios hypothesized in those plans, in a suitable period of time (including several years), which are representative of the risk analysis conducted for the site.

Bibliography

- [1] **GU** DECRETO LEGISLATIVO 14 settembre 2011, n. 162 “Attuazione della direttiva 2009/31/CE in materia di stoccaggio geologico del biossido di carbonio, nonché’ modifica delle direttive 85/337/CEE, 2000/60/CE, 2001/80/CE, 2004/35/CE, 2006/12/CE, 2008/1/CE e del Regolamento (CE) n. 1013/2006”. (11G0207) (GU Serie Generale n.231 del 04-10-2011).
- [2] **EIGA** Safety Info 24/11/E “Carbon Dioxide Physiological Hazards: Not just an asphyxiant!”. Prepared by the Safety Advisory Council. 2011. EIGA - EUROPEAN INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION AISBL. AVENUE DES ARTS 3 – 5. B-1210 BRUSSELS.
- [3] **UK** “Guidance. Post-combustion carbon dioxide capture: best available techniques (BAT). The available techniques which are the best for preventing or minimising emissions and impacts on the environment from post-combustion carbon dioxide capture”. UK Environmental Agency. Published 2 July 2021.

Recupero e valorizzazione di alghe infestanti per la produzione di sensori biocompatibili

*Massimo Mari, massimo.mari@cnr.it, CNR - Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, Roma
Carla Mazziotti, CNR - Dipartimento di Ingegneria ICT e Tecnologie per l'Energia e i Trasporti, Roma
Antonella Macagnano, CNR - Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, Roma*

Riassunto

Sarebbe necessario, nel contesto attuale, riservare una maggiore cura alle esistenti sinergie tra azioni di contrasto al cambiamento climatico e piani per lo sviluppo dell'economia circolare e della bioeconomia. Questa sinergia potrebbe essere garantita attraverso l'adozione di funzionali strumenti economici ed attraverso il concreto supporto a progetti pilota innovativi dotati di alto valore aggiunto sia da un punto di vista economico che ambientale.

La ricerca sui biocompositi si sta attualmente concentrando sulla riduzione dei costi delle materie plastiche biodegradabili. La miscelazione di filler a basso costo in polimeri biodegradabili è diventata una soluzione alternativa per lo sviluppo di materiali sostenibili dalle proprietà strutturali e funzionali implementate. Considerato l'attuale livello di sfruttamento delle fonti di biomassa terrestre, un'alternativa interessante può essere rappresentata dall'uso di biopolimeri dall'ambiente marino. L'accumulo di alcune tipologie di alghe, lungo le coste e nelle lagune, può compromettere la salute degli ecosistemi marini nonché rappresentare un pesante onere economico-gestionale per l'amministrazione locale, chiamata a prendersi carico del loro smaltimento finale. Queste alghe infestanti possono essere facilmente valorizzate e attraverso opportuno processamento trasformate in fibre, trovando applicazione nell'industria tessile sia come "raw materials", all'interno di materiali compositi, sia come fonte di matrici polimeriche a seguito di estrazione e purificazione. Dalle alghe si possono, infatti, reperire una vasta gamma di polimeri naturali, che rappresentano una risorsa per lo sviluppo di sensori e biosensori altamente innovativi, realizzati attraverso la tecnologia dell'elettrofilatura. L'electrospinning è un metodo versatile per produrre fibre fino alla scala del diametro nanometrico. Tale tecnologia è in uso, presso i laboratori del CNR-IIA, per lo sviluppo di sensori chimici e biosensori biodegradabili ed ecocompatibili per applicazioni in campo ambientale.

Summary

It should be useful reserving much more effort to enforce the existing synergies between strategies to mitigate the climate change and the action plans for the development of circular and bioeconomy. This synergy could be ensured by the introduction of adequate economic tools and by supporting innovative researching pilot projects able to generate a high added value both by the economic and environmental point of view.

The research on bio composites is mainly focusing on the reduction of costs related to biodegradable plastic materials. Considering the hard exploitation of land biomasses, the using of marine biopolymers could be a wise alternative. The accumulation of some kind of macroalgae

on coasts and bays could represent a real threat to the marine natural ecosystems and implies huge operative and economic charge for local administration to disposal. Anyway these infesting algae should be easily valorized, rightly processing them is possible to obtain fibers to introduce in several productive cycles both as “raw materials” or as polymeric matrices. From macroalgae, in fact, it is possible to obtain a number of natural polymers. These polymers can be processed, by the electrospinning technology (CNR-IIA laboratories for advanced and innovative sensors) to realize innovative and eco compatible sensors for environmental monitoring.

1. Introduzione

Nel corso dell’auspicata transizione da un’economia di tipo lineare ad un’economia circolare, ove ogni sistema produttivo è orientato alla revisione dei propri processi produttivi al fine minimizzare gli sprechi, ridurre la produzione di rifiuti e contenere gli impatti ambientali, le attività di ricerca scientifica si rivelano di fondamentale importanza per l’acquisizione di nuove conoscenze e di nuove opportunità, specialmente nel campo biotecnologie.

A livello normativo, al fine di favorire la transizione economica, si è deciso di intervenire in materia di gestione dei rifiuti, considerata l’eccezionale rilevanza e trasversalità della materia. Attraverso la riduzione della produzione dei rifiuti, infatti, è possibile chiudere i cicli dei materiali, realizzare prodotti che possano essere riutilizzati, e riciclati, permettendo così di ridurre significativamente gli enormi impatti ambientali connessi all’estrazione dei materiali, al loro processamento ed allo smaltimento del prodotto finale. Nell’ordinamento nazionale, l’articolo 179 del D.lgs. 152/2006 rappresenta il principale riferimento normativo per il raggiungimento degli obiettivi europei in materia di gestione dei rifiuti e di economia circolare. La disposizione citata è volta ad assicurare il rafforzamento della gerarchia relativa alle attuali modalità di trattamento dei rifiuti (Fig.1).

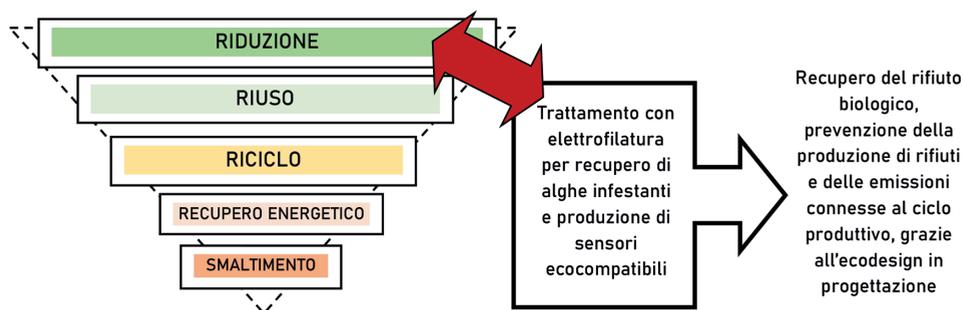


Fig. 1 – Recupero e valorizzazione di alghe infestanti per la produzione di sensori biodegradabili ed ecocompatibili: collocazione delle attività considerate al top della gerarchia sulle modalità di trattamento dei rifiuti, ex art. 179 del D.lgs. 152/2006 (ricepimento nazionale dell’art. 4 della Direttiva 2018/851/EU).

Come più volte ribadito dalla Commissione europea e dalla Agenzia Ambientale Europea [1][2][3][4][5] è auspicabile e fondamentale che la transizione verso sistemi economici circolari venga accompagnata da una simultanea crescita della bioeconomia. Al fine dunque di raggiungere questo duplice risultato, potenziare ed innovare i settori afferenti alla bioeconomia, rispettare i principi e raggiungere gli obiettivi individuati dalla normativa in materia di economia circolare, appare strategicamente rilevante trovare alternative fonti di biomassa da reintrodurre nei cicli di produzione e consumo. In questo senso, le alghe rappresentano una straordinaria risorsa, non solo per le loro proprietà naturali, ma specialmente per le numerose potenzialità di sfruttamento in diverse applicazioni, sempre orientate ad un modello di pro-

duzione e consumo rigenerativo e *zero-waste*. Lo sfruttamento di biomasse di scarto di origine marina risulta particolarmente interessante, permettendo tra l'altro di evitare ulteriore consumo di suolo per l'approvvigionamento di biomasse terrestri e non entrando in conflitto con il settore agroalimentare. Evidentemente, per ragioni di morfologia territoriale, le potenzialità di sfruttamento di alghe e di altre biomasse marine sono ampiamente maggiori in un paese come l'Italia, con poca disponibilità di suolo e una notevole estensione costiera.

Il presente lavoro è volto ad offrire un quadro sintetico sulle potenzialità offerte dalla tecnologia dell'elettrofilatura per il recupero di alghe marine infestanti attualmente considerate rifiuto destinato a smaltimento, con oneri a carico dell'amministrazione locale competente. Il trattamento con *electrospinning* (ES), ove correttamente pianificato e condotto, può infatti essere funzionale ad un pronto reinserimento del materiale biologico recuperato nel ciclo produttivo, rappresentando, grazie ad una progettazione di *ecodesign*, un utile ed innovativo strumento per la prevenzione di rifiuti ad alto impatto ambientale. In particolare, tra le possibili applicazioni cui può essere destinato l'output del trattamento con elettrofilatura di macroalghe marine, verrà sinteticamente descritta, sulla base dell'esperienza maturata nei laboratori di Sensoristica Avanzata dell'Istituto sull'inquinamento atmosferico del Consiglio Nazionale delle Ricerche, l'attività volta alla produzione di sensori ecocompatibili e biodegradabili per il monitoraggio ambientale.

2. Relazione

Come rappresentato nel precedente paragrafo (Fig. 1), le considerate applicazioni per la valorizzazione di macroalghe infestanti attraverso l'elettrofilatura, rientrando tra le attività di riduzione e di prevenzione dei rifiuti, si collocano al top della gerarchia sulle modalità di trattamento di cui alla parte IV del D.lgs. 152/2006. Tali innovative applicazioni permettono la sostituzione di prodotti e componenti tradizionali con materiali biologici di scarto, consentendo contestualmente la riduzione dell'inquinamento e della produzione di rifiuti nell'ambito di tutte le fasi del ciclo di produzione e consumo. L'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico (IIA) del CNR ha concentrato importanti linee di ricerca sull'implementazione di progetti di "bioeconomia circolare" che, grazie all'utilizzo di adeguate tecnologie, possano permettere la rivalutazione di scarti di origine biologica (magari, come nel caso delle alghe marine infestanti, caratterizzati da rilevanti problematiche di smaltimento) ai fini di un loro pronto reinserimento nei cicli di produzione e consumo in sostituzione di prodotti e componenti tradizionali ed inquinanti. Le attività di ricerca in questione mirano a conseguire un duplice obiettivo in termini di circolarità e sostenibilità ambientale: 1) la prevenzione di rifiuti altamente inquinanti (attraverso una progettazione caratterizzata dall'*ecodesign* sarà possibile evitare la produzione di rifiuti derivati dal fine vita di prodotti/componenti di tipo tradizionale); 2) la minimizzazione e la valorizzazione di scarti (biomasse infestanti nocive per gli ecosistemi marini), attualmente caratterizzate da criticità legate alla loro gestione ed al loro smaltimento.

2.1 La tecnologia dell'elettrofilatura per il recupero di alghe marine infestanti e la produzione di sensori ecocompatibili e biodegradabili

Tra i processi tecnologici noti per la realizzazione di materiali plastici da risorse naturali, l'elettrospinning (ES) risulta particolarmente interessante grazie alla eccezionale flessibilità che permette in termini di scelta dei materiali da trattare. La flessibilità della tecnologia dell'elettrofilatura permette di selezionare i materiali di scarto oggetto del trattamento funzionale e la loro reintroduzione nel ciclo produttivo in base alla loro reale disponibilità sul territorio ed al livello di criticità connesso alle modalità di smaltimento del rifiuto. Questo, specie nel lungo periodo, favorisce senza alcun dubbio la massimizzazione dei risultati attesi in termini di benefici ambientali e vantaggi economici per il sistema (Fig. 2). L'IIA del CNR, sfruttando l'ec-

cezionale flessibilità di questa tecnologia, proprio al fine di massimizzare i benefici ambientali connessi alle proprie proposte progettuali orientate all'economia circolare, ha concentrato la propria attenzione sullo sfruttamento di scarti biologici caratterizzati sia da criticità di smaltimento che da ampia disponibilità sul territorio (vedi alghe marine infestanti). L'ES è una nanotecnologia emergente attraverso la quale è possibile fabbricare fibre polimeriche continue, dotate di morfologie e strutture diversificate, idonee a formare tessuti fibrosi secondo diverse combinazioni. A livello macroscopico l'output prodotto è un "tessuto" di spessore variabile e dimensioni variabili, a livello microscopico esso risulta composto da un network di fibre tridimensionali interconnesse tra di loro. La tecnica risulta assai vantaggiosa in quanto è molto rapida, e permette di ottenere un campione già secco (senza la presenza di solvente) in modo da poter evitare successivi e costosi processi di essiccazione. I materiali elettrofilati offrono molti vantaggi, sia strutturali che funzionali. Un elevato rapporto superficie-volume, porosità indotta da struttura fibrosa intrecciata, tessitura superficiale su misura e altre proprietà fisiche modulabili sono i principali vantaggi strutturali delle fibre elettrofilate. D'altra parte, i loro vantaggi funzionali risiedono in una capacità di carico elevato dei composti funzionali, maggiore stabilità delle molecole bioattive, la possibilità di ottenere un rilascio controllato delle molecole incorporate e la possibilità di utilizzare biopolimeri. L'effetto delle dimensioni nano-micrometriche delle fibre elettrofilate contribuisce al conferimento di un'attività superficiale molto elevata, che è desiderabile per sviluppare strutture interattive e/o intelligenti. L'elettrofilatura è inoltre una tecnologia riproducibile, a costi contenuti e scalabile a livello industriale.

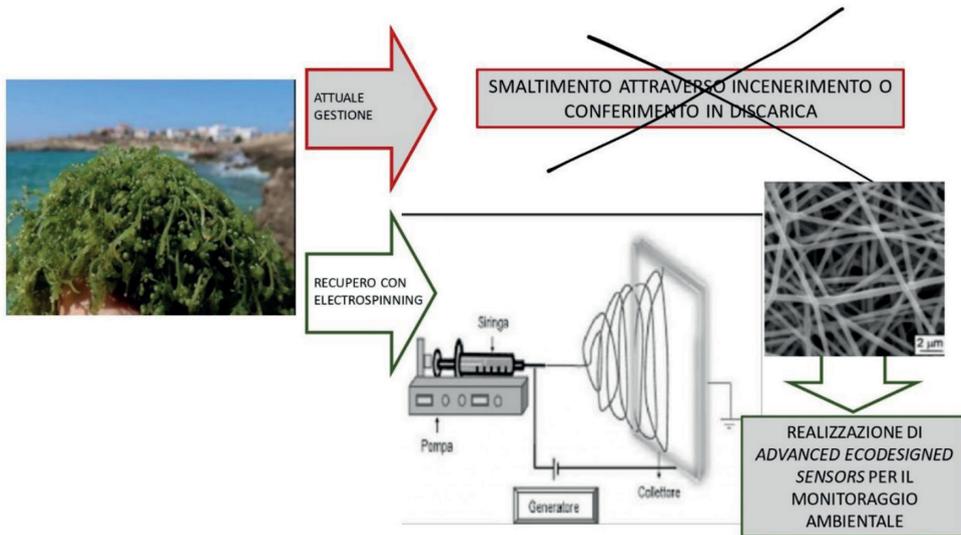


Fig. 2 – Attuale gestione volta allo smaltimento di alghe infestanti a confronto con processo per recupero della biomassa marina e la realizzazione di sensori ecocompatibili nanostrutturati, utilizzando la tecnologia dell'elettrofilatura. Fonte: elaborazione autore.

Le alghe marine rappresentano pertanto una significativa fonte di biomassa per l'estrazione di biomateriali e per la produzione di materiali nanostrutturati con proprietà uniche e notevoli applicazioni. I materiali a base di alghe possono essere forniti sotto forma di polimeri algali, miscele polimeriche e composti risultanti da biomassa algale o biomolecole mescolate o incapsulate all'interno di ulteriori matrici polimeriche [6]. I polimeri algali

includono polisaccaridi e polisaccaridi solforati (principalmente dalle pareti cellulari) come carragenina, agar, alginati e poliidrossialcanoati. Inoltre, la biomassa algale e le biomolecole possono essere utilizzate con successo come precursori di diversi biopolimeri come polietilene, poliuretano e poliesteri. Infine, l'incorporazione di polimeri algali, o residui di biomassa nei polimeri sintetici (quando non è possibile utilizzare il biopolimero) si può tradurre nell'implementazione delle proprietà meccaniche della biodegradabilità del nanotessuto [7]. Attraverso l'elettrospinning (ES) le fibre possono essere progettate in strutture *core-shell*, dove la superficie e il core delle nanofibre presentano definite proprietà, che a seconda dell'applicazione finale, possono essere di tipo funzionale o strutturale. In tal modo polimeri non filabili o materiali non polimerici possono essere anche incapsulati all'interno delle fibre. Infatti il processo di elettrofilatura è attualmente una delle tecniche di incapsulamento più promettenti. L'incapsulamento è necessario per la protezione dei composti attivi che aiutano anche a migliorarne la stabilità, la biodisponibilità e un eventuale rilascio controllato.

I polimeri di alghe e le loro miscele sono già stati elettrofilati in vari settori e per molteplici applicazioni, dagli imballaggi di vario genere a prodotti e dispositivi per l'agricoltura, dalla medicina all'alimentazione, dalla medicina alla cosmesi, dal biorisanamento ai tessuti *eco-friendly*. Esempi di plastica a base biologica includono polimeri come poliidrossialcanoati (PHA) e poliesteri (PE), che vengono utilizzati per una serie di scopi, tra cui l'imballaggio alimentare e l'agricoltura. Ad esempio, il poli-3-idrossibutirrato (PHB) è un poliesteri termoplastico che si sviluppa naturalmente nei batteri (*Ralstonia eutropha*, *Bacillus megaterium*, ecc.). Anche se il PHB è biodegradabile e con alcune caratteristiche eccellenti per molti strumenti di plastica disponibili in commercio, la produzione di questa bioplastica è ancora un po' costosa e dispendiosa in termini di tempo. Recentemente, l'alga bruna *Sargassum* sp. è stata utilizzata come materia prima per produrre PHB utilizzando un batterio del suolo (*Cupriavidus necator*) con una elevata resa (0,74 g/g di zucchero riduttore). In IIA, sono state progettate, sviluppate e studiate membrane nanostrutturate basate su PHB elettrofilate come potenziali dispositivi per l'agricoltura [8]. Infatti tessuti di PHB con PCL sono stati funzionalizzati con microorganismi benefici per le piante, per lo sviluppo di nanobiostimolanti innovativi, più stabili e maggiormente controllabili. Una membrana nanofibrosa di PHB miscelato con policaprolattone (resa più facile da maneggiare) e caricata con catecolo (sideroforo) è stata progettata per rendere disponibile ferro insolubile dall'ambiente circostante alle radici delle piante [9]. Per progettare sensori conduttivi elettrofilati per gas e composti volatili (Fig. 3), il PHB è stato utilizzato anche in combinazione con la polianilina (PANi), un polimero conduttivo e noto per le sue proprietà sensoristiche, e le cui risultanti caratteristiche di rilevamento sembravano essere guidate dall'umidità ambientale, rendendolo particolarmente funzionale in ambienti umidi. Gli strati nanofibrosi ottenuti attraverso la tecnologia dell'elettrofilatura effettuata direttamente sui chemiresistori hanno prodotto membrane altamente porose con risposte rapide ed elevata sensibilità all' NH_3 . Il PHB è stato elettrofilato inoltre in un unico passaggio in combinazione con polistirene ottenuto da riciclo (PS) e con una concentrazione nota di grafene mesoporoso (per rendere le fibre conduttive) ottenendo nuovi sensori di gas selettivi a composti volatili differenti con sensibilità modulabile.

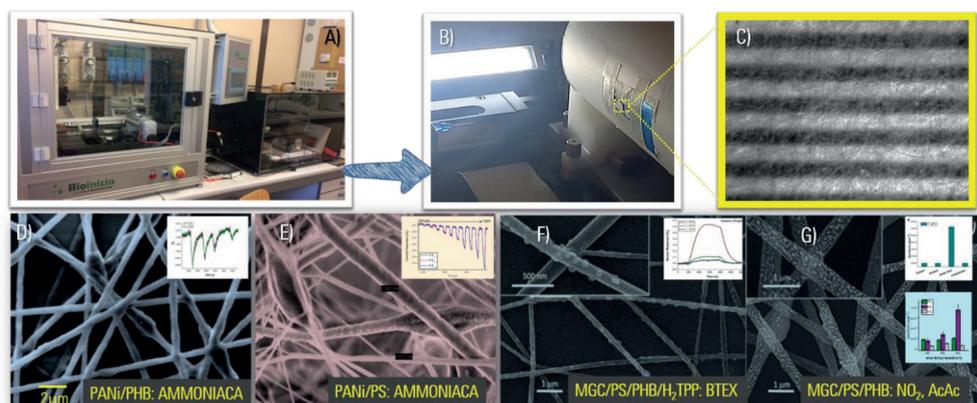


Fig. 3 – A) strumentazioni per elettrofilatura presso i laboratori di IIA-CNR; B) processo di deposizione tra la punta di un ago ed un collettore metallico rotante su cui sono alloggiati i trasduttori; C) immagine al microscopio ottico dei microelettrodi coperti da nanofibre polimeriche di PCL; D) immagine SEM di nanofibre di PHB/PANI e relativi segnali elettrici (inserto) quando esposte a concentrazioni in tracce di ammoniaca; E) comparazione di prestazione tra fibre naturali e fibre sintetiche (polistirene PS con PANi); F) fibre nanocomposite di PHB-PS, grafene mesoporoso (MGC) e H2TPP per il monitoraggio di BTEX; G) fibre nanocomposite termoplastiche di PHB-PS-MGC per il monitoraggio di composti acidi (acido acetico) ed ossidanti (NO₂) a temperature di lavoro differenti.

La miscelazione dei due polimeri termoplastici ha consentito, infatti, lo sviluppo di nanofibre ruvide e porose stabili e in grado di lavorare tra 40 e 80°C e di rilevare in modo selettivo composti organici volatili e gas. Più in dettaglio, il sensore è risultato altamente sensibile e selettivo all'acido acetico a 40°C, ma la sensibilità è diminuita, diminuendo del 96% quando il sensore ha funzionato a 80°C. A temperature più elevate, tuttavia, il sensore ha enormemente aumentato la sua sensibilità a NO₂. La selettività di tali sensori è facilmente e rapidamente modulata dalla temperatura di lavoro [10]. L'introduzione di un ulteriore composto (H2TPP, meso-tetrafenilporfirina) ha permesso di ottenere una modulazione della selettività, allargando la sensibilità del sensore ai composti volatili aromatici inquinanti (es. BTEX) [11].

3. Conclusioni

Le macroalghe marine sono sostanze ricche di componenti bioattivi. In alcuni casi la proliferazione di alcune tipologie di queste alghe può compromettere la salute degli ecosistemi marini e la conduzione di attività costiere e di pesca. Per questo, a livello normativo, le alghe infestanti sono spesso considerate rifiuto e vengono avviate a smaltimento con ingenti costi a carico delle amministrazioni locali e connessi impatti ambientali. Lo sfruttamento di alghe infestanti, attraverso lo sviluppo di innovativi progetti di ricerca scientifica orientati all'economia circolare, potrebbe dunque garantire il conseguimento simultaneo di importanti obiettivi in termini di transizione economica, di gestione sostenibile dei rifiuti e delle materie prime. Presso i laboratori di sensoristica avanzata del CNR-IAA, attraverso la tecnologia dell'ES, sono stati realizzati con successo, trattando alghe infestanti, sensori innovativi per il monitoraggio ambientale. Grazie dunque all'eccezionale flessibilità della tecnologia, alla maturità della stessa, alla tempistica del trattamento ed ai bassi costi di gestione, possiamo affermare, sia da un punto di vista ambientale che economico, che lo sfruttamento e la valorizzazione di alghe infestanti, volto al recupero di polimeri naturali per un successivo reinserimento nel processo produttivo e la realizzazione di prodotti ecocompatibili in sostituzione di quelli tradizionali, è in piena linea con la strategia europea per la transizione economica, e rappresenta, in parti-

colare per il nostro Paese, un'ottima opportunità per favorire lo sviluppo sostenibile, tutelare gli ecosistemi marini e le attività antropiche costiere, nonché per permettere il superamento di importanti criticità connesse alla gestione dei rifiuti urbani di alcune amministrazioni comunali nazionali.

Bibliografia

- [1] **E.E.A.**, report n. 8/2018; report n. 11/2019
- [2] **McKinsey, Ellen MacArthur foundation** (2015). Growth within a circular economy vision for a competitive Europe;
- [3] **Ellen MacArthur foundation** (2013). Towards the circular economy Economic and business rationale for accelerated transition;
- [4] **Mari M., Macagnano A., Mazziotti C., Renzi M., Spiga O., Santucci A., Fardelli A.** (2021). Exploitation of overrun macroalgae as model to lead the circular economy transition and the bioeconomy growth, CNR press monography;
- [5] **Mari M., De Cesare F., Mazziotti C., Macagnano A.** (2021) La tecnologia dell'elettrofilatura per l'ecodesign in progettazione attraverso il recupero di scarti agro alimentari; ISBN 978-88-916-5505-9
- [6] **Teboho Clement Mokhena,** (2019)Cellulose nanomaterials: new generation materials for solving global issues <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-019-02889-w>
- [7] **Yolanda Freile** (2017) Biodegradable Polymer Blends and Composites from Seaweeds
- [8] **Macagnano, A.; Mari, M.; Scarascia-Mugnozza, G. ; De Cesare, F.** (2020). A sustainable model for agriculture based on nanofibrous biodegradable polymers mimicking natural strategies, 22nd EGU General Assembly, held online 4-8 May, 2020, id.19686. DOI. 10.5194/egusphere-egu2020-19686
- [9] **Fabrizio De Cesare, Fabrizio Pietrini, Massimo Zacchini, Giuseppe Scarascia Mugnozza, Antonella Macagnano.** (2019) Catechol-Loading Nanofibrous Membranes for Eco-Friendly Iron Nutrition of Plants
- [10] **J. Avossa, E. Zampetti, F. De Cesare, A. Bearzotti, G. Scarascia-Mugnozza, G. Vitiello, E. Zussman and A. Macagnano,** (2018) Thermally Driven Selective Nanocomposite PS-PHB/MGC Nanofibrous Conductive Sensor for Air Pollutant Detection
- [11] **Avossa J, Paolesse R, Di Natale C, Zampetti E, Bertoni G, De Cesare F, Scarascia-Mugnozza G, Macagnano A.** Electrospinning of Polystyrene/Polyhydroxybutyrate (2019) Nanofibers Doped with Porphyrin and Graphene for Chemiresistor Gas Sensors.

ECONOMIA CIRCOLARE ENTRO LE PRINCIPALI FILIERE INDUSTRIALI

LA SIMBIOSI INDUSTRIALE PER LA STRATEGIA NAZIONALE DI ECONOMIA CIRCOLARE

La simbiosi industriale è uno strumento cruciale per rilanciare la competitività, ridurre la dipendenza dalle materie prime, rilanciare l'economia post-Covid e aumentare la resilienza del sistema attraverso ecosistemi territoriali in grado di assorbire scompensi esogeni. Nel 2017 il documento di inquadramento e di posizionamento strategico “Verso un modello di economia circolare per l'Italia”, redatto dai Ministeri dell'Ambiente e dello Sviluppo economico, sottolineava l'importanza della simbiosi industriale come strumento di eco-innovazione di sistema, evidenziando la necessità di predisporre un portafoglio organico e sistematico di strumenti economici a supporto delle imprese. In tale direzione, nel 2021 l'aggiornamento della “Strategia nazionale per l'economia circolare”, prevista tra le 63 riforme fondamentali per l'attuazione degli interventi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza italiano, ha individuato la simbiosi industriale come una delle nove aree di intervento necessarie per realizzare la transizione verso l'economia circolare nel nostro Paese, prevedendo inoltre il supporto allo sviluppo di progetti sul tema, anche attraverso appositi strumenti normativi e finanziari. L'appuntamento giunto alla sua VI edizione, offre un'occasione per fare il punto sulla strada percorsa e da percorrere, dal punto di vista delle policy e di casi operativi reali.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo & ENEA e SUN (Symbiosis Users Network)**

Presidenti di sessione:

Laura Cutaia, ENEA – Presidente SUN - Symbiosis Users Network
Michelangelo Di Luozzo, Confindustria Taranto

Circular economy application from the field to the net. Sustainable and innovative feeds from agricultural wastes for a resilient and high-quality aquaculture

*Germana Borsetta germana.borsetta@unicam.it, Sauro Vittori, Alessandra Roncarati,
Università degli Studi di Camerino, Camerino
Emanuela Frapiccini, Mauro Marini, Monica Panfili, Alessandra Campanelli, Pierluigi Penna,
Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine del Consiglio Nazionale delle
Ricerche, Ancona,
Giuseppe Meca, Universidad de Valencia, Valencia
Khaled Taibi, Ibn Khaldoun University of Tiaret, Tiaret*

Riassunto

Il progetto AgrI-fiSh è stato finanziato nell'ambito del programma Horizon 2020 - PRIMA, con il partenariato di ricerca di tre paesi del Mediterraneo: Algeria, Italia e Spagna. Il progetto contribuirà alla transizione verso un sistema agroalimentare più resiliente attraverso un approccio agricolo innovativo e circolare, che promuove un uso efficiente delle risorse biologiche e naturali con un aumento nella produttività. Nuove potenzialità per le aziende agricole, i sistemi agroalimentari e i mercati locali deriveranno dalla valorizzazione dei rifiuti agricoli da utilizzare per la creazione di mangimi di alto valore nutritivo per un'acquacoltura di acqua dolce sostenibile. Il potenziale nutraceutico di specifici rifiuti agricoli (vinaccioli, legumi e cereali), con l'aggiunta nella formulazione di altri componenti (fermentato da lattobacilli di siero di latte di capra ed erbe medicinali) per creare mangimi a base vegetale per l'acquacoltura, contribuiranno alla salute animale e umana con conseguenti benefici per l'ambiente, le economie locali e i consumatori.

Summary

The AgrI-fiSh project has been funded under Horizon 2020 - PRIMA, with the research partnership of three Mediterranean countries: Algeria, Italy and Spain. The project will contribute to the transition to a more resilient agro-livelihood system through an innovative and circular farming approach, which promotes an efficient use of biological and natural resources with a valuable increase in productivity. New potential for farms, agri-food systems and local markets will arise from the valorization of agricultural wastes to be used for the creation of high-value feeds for a sustainable in-land aquaculture. Nutraceutical potential of specific agricultural wastes (i.e grape seeds, legumes and cereals), in combination with other components (LABs fermented whey and medicinal herbs) to create plant-based feeds for aquaculture, will foster animal and human health with consequent benefits for the environment, local economies and consumers.

1. Introduction

AgrI-fiSh project aims at increasing the environmental and socio-economic performances of small-scale farming systems through the development of an innovative model, which will help in improving organizational aspects of the agri-systems, while creating a new value chain governance model, especially at the local levels. For the first time agriculture and aquaculture are linked together to achieve a common goal: the application of a circular economy model, defined as “from the field to the net”, for the creation of sustainable and innovative feeds from agricultural wastes for a resilient and sustainable aquaculture.

The overall objective of the project is to reinforce the resilience of local agri-food systems face to climate change, through capacity building and cooperation among the actors involved in the agriculture and aquaculture sectors, while adopting a circular model, which will effectively contribute to increase ecosystem services, biodiversity diversification and farmer's incomes. The scope is also to provide communities with evidence-based and promote a sustainable inland aquaculture in rural lands as an effective and cost-saving activity, thus promoting farming diversification in regions characterized by degraded soils, like northern Africa and Southern Europe.

The project is built on interconnected research activities, to support the sector's transition to sustainable agriculture and aquaculture and to the circular economy model proposed, which could be further on up-scaled for aquaculture at sea.

The circular model is applied to conceive innovative feeds, with high-nutraceutical values and low environmental impact (from cradle-to-grave), for aquaculture productions starting from the reuse of agricultural wastes and with the combination of natural antimicrobial substances deriving from sustainable agriculture, such organic and climate-smart agriculture, LABs and some medicinal plant species, such as *Opuntia ficus-indica*, *Pistacia lentiscus*, *Eucalyptus globulus*, *Peganum harmala*, *Ziziphus lotus*, *Phoenix dactylifera*, *Thymus algeriensis* and *Allium spp.* among others. The project itself contributes to achieve socio-economic impacts by scaling-up research activities from the laboratory dimension to the adoption of a circular model, adaptable and replicable according to inner territorial needs and characteristics, while generating new socio-economic opportunities. Agriculture and aquaculture are directly linked within this project, with the aim of enhancing their mutual potentials in a circular process, reinforcing the sustainability of local communities, promoting knowledge transfer and creating an innovative sector of employment. Moreover, such combination constitutes an effective approach for the rehabilitation, development and the maintaining of local populations in abandoned and marginalized arid inland, such as in Algeria.

AgrI-fiSh intends to create plant-based feeds to limit the animal competition on biodiversity resources, and the principal sectors of research and investigations are grape, cereal and legume productions, as well as dairy products and medicinal herbs. Attention is also given to mitigation and adaptation to climate change, since the system is conceived to reduce greenhouse gas emissions from the sector, limit or eliminate the use of antibiotics, and promote the limitation of mycotoxins and fungal contamination in feeds used for aquaculture, through the use of natural ingredients from waste valorization.

2. Report

The United Nations General Assembly has declared 2022 the International Year of Artisanal Fisheries and Aquaculture (IYAFA 2022) [1], and growing attention is given to aquaculture worldwide due to the increase in its demand and productions.

According to FAO, aquaculture is among fastest growing food production sectors worldwide and has become the main source of fish proteins for human consumption since 2016, as a consequence of the marine overfishing and depletion of wild fish stocks. [1] Unfortunately,

intensive aquaculture represents a threat for climate change and biodiversity due especially to the release of pollutants in the environment. However, the relationship between agriculture and climate change is two-sided since agriculture is the economic sector most affected by the ongoing processes. It is a large emitter of greenhouse gases (GHGs) but it could also represent a solution in limiting GHG emissions through the development of sustainable agricultural approaches (i.e., organic, climate-smart agriculture). [2]

According to the latest *The State of World Fisheries and Aquaculture* from FAO and *World Fish*, the number of people employed in the primary fisheries and aquaculture sectors is 59.5 million, of which 14% are women. In the world, 20 million people are directly engaged in aquaculture and its production has increased by 527% since 1990. About 80% of world aquaculture production comes from developing countries. Globally, aquaculture produced 82.1 million tons of aquatic animals in 2018. Europe is the continent with the highest consumption of fish products (24.5 kg/capita), higher than the world average of 18 kg per year. It currently participates in 18% of world aquaculture production and the sector accounts for almost 20% of fish production, employing about 85,000 people. Aquaculture production is projected to increase by a third by 2030, reaching 109 million tons, and by 2050 it will provide most of the “aquatic” protein in people’s diets.

One of the most difficult challenges aquaculture faces is the climate crisis, since the heating of the water influences the metabolism of fish and therefore the production of the supply chain. Thus, the combination of a higher demand and the increase of climatic threats that impoverish biological resources, result in the need of providing communities with resilient and sustainable aquaculture systems to guarantee their food security. The *AgrI-fiSh* project responds to such challenges.

The model proposed will improve the Mediterranean agroecosystems’ resilience with focus on the concept of productivity and quality valorization, and the maintaining of the well-being of the environment and the population. In fact, not only wastes, especially issued from agroecological activities, will be used as quality materials due to their nutraceutical potential, but also the testing of the final product (plant-based feeds), will enhance the nutritional quality of the fish.

Further on, consumers will find in the market a product of higher-quality level not only for their well-being but also for the well-being of the environment and the local economy. Consequently, producers (farmers and fishermen) will benefit from this virtuous system in terms of revenues and decrease in their vulnerability to climate change, since this model will guarantee yield prosperity and biodiversity abundance, while reducing the environmental impacts, by promoting sustainable agriculture and aquaculture and limiting the costs of adoption of the system.

Moreover, to respond to current environmental challenges in the Mediterranean area, the proposed model aims at identifying and undertaking innovative practices, suitable for aquaculture production and in line with SDGs and circular economy objectives, through adaptation and mitigation strategies.

2.1 Project activities

The project’s partnership is composed in Italy by the University of Camerino, being the coordinator, and the National Research Council – Institute of Marine Biological Resources and Biotechnologies (CNR-IRBIM), in Spain by the University of Valencia and in Algeria by the University Ibn Khaldoun of Tiaret. The project is funded under Horizon 2020-PRIMA and just started its implementations in June 2022.

The main activities relate to the definition of innovative feeds with a low environmental impact through the partial/total replacement of animal protein and lipid components with or-

organic agricultural wastes (at least 70% of the composition of the feed), contributing to lessen CO₂ emissions from the sector; an in-depth knowledge of the bioactive compounds content of bioproducts, mainly of grape seeds from various local grapes (Italy, Spain and Algeria), legumes and medicinal plants, in order to better assign the biological properties of each compound to the desired objectives of the project in enhancing fish growth and resistance to microbial diseases, improving the taste, etc.; the valorization of organic agricultural wastes and reduction of the costs of disposal through the creation of sustainable and quality feeds, with at least 20% lower costs; the improvement of animal growth and welfare by strengthening the immune system of fish with the bioactive compounds contained in the new feeds and consequent reduction in the use of antibiotics; the creation of a virtuous and circular local system that strengthens collaborations in the agri-food sector; the definition of a sustainable and economically favourable and competitive system that supports small-farmers in implementing organic productions, especially of legumes, which are a vegetable source of proteins and are soil nitrogen-fixing; the empowerment of local communities, with attention to gender and youth dimensions, strengthening the local dimension and the training system through direct collaboration at multiple levels (schools, universities and young entrepreneurs); the development of cooperation among Mediterranean countries through capacity building and knowledge sharing enhancement at different levels; the verification of the main organic and inorganic pollutants on the agricultural waste reused to develop the innovative feeds; and the development of a sampling protocol for sampling of water and fish in order to evaluate the state of the water quality of tanks and the well-being of the fish.

Concerning the testing phase on fish on trout and tilapia, analysis will be conducted to evaluate the zootechnical performance and welfare of tested fish to assess the experimental diets and the setup of water quality and fish sampling protocol. The feeding tests of the fish will be carried out to test the validity of the experimental diets containing the by-products of the sustainable supply chain. Each diet will be distributed to fish with an initial average weight of 30-40 gr for trout, and 100-150 gr for tilapia, will be reared at the same density and will be fed until a level close to satiety is reached. This will avoid subjecting the fish to forced feeding. After 90 days from the start of the test on Trout, the main growth performances will be measured (average weight, average length, average weight gain, specific growth rate, survival rate). The tests will continue by carrying out, at periodic intervals, the weight and length measurements on a representative sample of fish belonging to the different experimental and control groups. At the end of the tests, the zootechnical performance and the food conversion index for each test group will be determined. Such method will be replicated for targeted species in Spain and Algeria. Analysis will be carried out on the temperature and dissolved oxygen of the water and samples of 500 cc of water will be taken at the exit from the basins where the feeding tests of the trout with the experimental diets will be carried out, in comparison with the Control diet. To verify the functioning of the treatment path, the monitoring of the chemical-physical parameters (temperature and dissolved oxygen) and the analysis of the different nitrogenous forms (nitrites, nitrates and ammonium) present in the water from the tanks using a spectrophotometer, applying internationally recognized analytical methods. The concentration of dissolved oxygen directly affects both the self-purifying capacity of the water and the possibility of survival of the fish species. On a bi-weekly basis, as required by the protocol, the colorimetric analyzes (Strickland and Parson, 1972) are carried out after filtration (0.7 micron filter, Whatman GF/F) to quantify the presence of: NH₃, NO₃⁻, NO₂⁻.



Fig. 1– Agri-fiSh model

2.2 Project implementations

The Project intends to solve the following problems related to productions: i) waste volumes and disposal, by valorizing them; ii) unsustainable aquaculture, by creating innovative feeds which are plant-based; iii) use of pesticides and antibiotics in agri-food productions, by promoting sustainable agriculture and using LABs and medicinal herbs in the feeds; iv) post-harvest issues, by developing a new solution to prevent post-harvest issues based on non-toxic, eco-friendly biocide intended to substitute synthetic fungicides with non-toxic eco-friendly substances (GRAS, bio-stimulants, resistance inducers and natural substances) and biological control agents (antagonistic bacteria, yeasts and fungi) to prevent the storage fungal contaminants of aquaculture feeds; v) impoverishment of agricultural system, by developing a sustainable model, which is profitable for smallholders and creates competitiveness and new employment, especially in rural areas.

During these first three months of project implementation, the main research activities focused on the characterization of agricultural wastes. In fact, the valorization of wastes has a strong adaptation potential, since an abundant agriculture production results in a high quantity of processing wastes. These wastes represent an important disposal cost to be borne by farmers and agriculture producing and processing companies. Hence, it is necessary to increase value of these wastes, both reducing their disposal and related costs, and valorizing their potential and intrinsic value. The production of vegetable by-products and discards leads to the formation of waste and effluents that are naturally rich in carbohydrates, proteins, fibers and lipids, as well as vitamins and other bioactive compounds, such as resveratrol, present in wine wastes. Studies have shown the health potential for human consumption of nutrients present in grape skin and seeds, such as resveratrol and other polyphenols, which can be transferred into meat (e.g., livestock or fish) and remain still available after consumption. [3,4]. Polyphenols, among all, have the propriety to lower cholesterol levels in blood and limit the oxidative stress in the cells for human health. [3]

2.2.1 Main results

Analyzed wastes are: a) grape pomace, b) grape seeds, c) discard of pasta making of: -fava beans, -peas, -chickpeas, -lentils, -pasta made with *Norberto* wheat flour (wholemeal pasta), - pasta made with *Senatore Cappelli* wheat flour (both wholemeal and not), for a total of 9 discards/ingredients.

The analysis on wastes have been directed, from one side to the determination of nutrients in the wastes (proteins, lipids, carbohydrates, fibers), and from the other to bioactive and health promoting compounds, with special attention to macro- and micro-elements, fatty acid

profile, including mono- and poly-unsaturated ones, aminoacidic profile, mineral profile with macro- and micro- elements, to end with Total Phenolic Content (TPC) and Total AntiOxy-dant Activity (AOA).

Aminoacidic and fatty acid profiles were determined using High Performance Liquid Chromatography, coupled to a Mass Spectrometry and/or a Diode Array Detector.

Mineral profile, related to 16 elements, was obtained using an ICP-MS apparatus. Finally, TPC and AOA were determined spectrophotometrically, with results given as Gallic Acid Equivalent and Trolox Equivalent, respectively. LOD for each analyzed component is reported in the table.

| | LOD (mg/kg) | Peas | Fava beans | Lentils | Chick peas | Cappelli normal pasta | Cappelli wholemeal pasta | Norberto wholemeal pasta | Pomace | Grape seeds |
|-------------------------------------|-------------|-------|------------|---------|------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------|-------------|
| Total phenolic content ^a | 3.3 | 845 | 1927 | 866 | 549 | 873 | 1294 | 1388 | 29829 | 30881 |
| Antioxidant activity ^b | 5.0 | 499 | 1278 | 691 | 533 | 619 | 628 | 698 | 1189 | 932 |
| Ca | 0.33 | 1101 | 865 | 303 | 714 | 243 | 569 | 804 | 6.299 | 7.543 |
| P | 0.20 | 3986 | 7998 | 4255 | 5523 | 1933 | 4702 | 5149 | 3209 | 3582 |
| Mg | 0.24 | 1298 | 1788 | 941,00 | 1853 | 574 | 1683 | 43 | 1592 | 1980 |
| K | 0.13 | 12994 | 19534 | 10693 | 15707 | 2121 | 4441 | 5106 | 27991 | 7088 |
| Zn | 0.20 | 37 | 39 | 37 | 49 | 13 | 54 | 61 | 10 | 13 |
| Se | 0.13 | <0.4 | <0.4 | <0.4 | <0.4 | <0.4 | <0.4 | <0.4 | <0.4 | <0.4 |
| Fe | 0.24 | 37 | 55 | 61 | 106 | 18 | 47 | 80 | 48 | 30 |
| Cu | 0.24 | 8 | 15 | 7 | 12 | 3 | 8 | 9 | 26 | 12 |
| Mn | 0.13 | 12 | 12 | 10 | 32 | 7 | 35 | 43 | 9 | 11 |
| Cr | 0.24 | <0.7 | 1 | <0.7 | 3 | <0.7 | <0.7 | 0,7 | 0,7 | <0.7 |
| Ni | 0.24 | 3 | 4 | 3 | 3 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 |
| Pb | 0.24 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 |
| Hg | 0.07 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 |
| As | 0.24 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 |
| Cd | 0.07 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 |
| Co | 0.24 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 | <0.7 |

Tab. 1 – Analytical data of analyzed agricultural wastes are given in mg/kg, except as below. ^aTPC = mg of Gallic Acid Equivalent/kg sample; ^bAOA = mg of Trolox Equivalent/kg sample;

Table 1 shows some analytical results about the characterization of agricultural waste samples; all concentrations are expressed as mg/kg.

As expected, pomace and grape seeds showed a very high total phenolic content (29829 and 30881 mg GAE/kg for pomace and grape seeds, respectively), from 15 to 60 times higher than the other ingredients. Regarding the Antioxidant activity, Fava beans recorded the highest concentration (1278 mg TE/kg). About elements, all discards showed to be from good to excellent source of them, especially for Ca, P, Mg, K, Zn, Cu, Mn. More, pomace and, particularly, grape seed were excellent source of n-6 PUFA with C18:2 n-6 value of 3,5 and 10,8 for pomace and grape seed, respectively (data no show).

3. Conclusion

This study gives an overview of the main ongoing activities and the major expected impacts and outcomes, but it could not be exhaustive due to the recent inception of the project.

Beyond the state of the art, AgrI-fiSh will develop an innovative model, easily replicable, and will be crucial for pursuing sustainability and creating new business initiatives in the agri-food sectors.

Due to its high-degree of novelty it will represent an asset for national economies and for further investments in the sectors (1° innovation). The standardization in the use of medicinal plants and whey (fermented by LABs) as components of fish feeds for food quality and security issues will become a protocol (2° innovation). The creation of plant-based feeds from sustainable agricultural wastes will become a protocol of innovation to be released in the market (3° innovation). This sustainable model will provide fish food enriched with bioactive constituents useful for the consumers' health, with the scope to reinforce the Mediterranean lifestyle, develop food traceability and provide products with high added value (nutritionally and economically) (4° innovation).

Particular attention will be further given to the use of medicinal plants, which in aquaculture has exploded recently, and have been used since ages by rural fish farmers, since they produce various beneficial effects to aquaculture such as antistress, appetite stimulation, growth promotion, immunostimulation, and have antipathogens properties due to their active compounds. [5]

Antiviral and antifungal activities are also able to prevent high mortality rates in aquaculture and the addition of LABs to the innovative feed constitutes an asset. [6]

The widespread application of many probiotic LAB species and *S. cerevisiae* in foods and their status as Generally Recognized as Safe (GRAS) organisms, makes them suitable candidates for strategies devised to diminish oral exposure to chemical contaminants and reducing mycotoxins.[7]

The combination of biotechnology of AgrI-fiSh project, such as the use of medicinal plants and the probiotic LAB will result in the application of an effective model, which will contribute to reduce the vulnerability of the agri-food systems face to climate change.

Bibliography

[1] FAO, The State of World Fisheries and Aquaculture, SOFIA 2022

[2] FAO, Climate-Smart Agriculture Sourcebook, FAO 2013

[3] Frombaum M. et al., (2012) Antioxidant effects of resveratrol and other stilbene derivatives on oxidative stress and bioavailability: Potential benefits to cardiovascular diseases, *Biochimie*, 269-276

[4] Ragni M. et al., (2014) Use of Grape Seed Flour in Feed for Lambs and Effects on Performance and Meat Quality APCBEE Procedia, 8, 59-64

[5] Reverter et al., (2017) Use of Medicinal Plants in Aquaculture, in: Diagnosis and Control of Diseases of Fish and Shellfish, 223

[6] Kuebutornye, F.K.A., Abarike, E.D., Lu, Y. et al. (2020) Mechanisms and the role of probiotic *Bacillus* in mitigating fish pathogens in aquaculture. *Fish Physiol Biochem* 46, 819–841. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00754-y>

[7] Chiochetti, G.M., Jadán-Piedra, C., Monedero, V., Zúñiga, M., Vélez, D., Devesa, V (2019) Use of lactic acid bacteria and yeasts to reduce exposure to chemical food contaminants and toxicity, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59:10, 1534-1545, DOI: 10.1080/10408398.2017.1421521

Misurare l'economia circolare nel settore agroalimentare: una panoramica delle review

Valentino Tascione, vtascione@uniss.it, Dip. di Scienze Economiche e Aziendali-Università di Sassari, Sassari

Gavina Manca, gmanca@uniss.it, Dip. di Scienze Economiche e Aziendali-Università di Sassari, Sassari

Andrea Raggi, a.raggi@unich.it, DEc-Università "G. d'Annunzio", Chieti-Pescara

Luigia Petti, l.petti@unich.it, DEc-Università "G. d'Annunzio", Chieti-Pescara

Riassunto

Una delle sfide da affrontare nella transizione da una economia lineare a una circolare è lo sviluppo di strumenti di misurazione che aiutino questo processo di trasformazione. Inoltre, è necessario definire gli indicatori per valutare il grado di circolarità e misurare gli effettivi benefici ambientali derivanti dal nuovo paradigma economico. Il presente lavoro, che si ispira alle "umbrella review", si propone di riassumere e discutere i risultati ottenuti finora nel settore dell'agrifood analizzando le rassegne bibliografiche in questo ambito. L'obiettivo è evidenziare la necessità di rafforzare la ricerca metodologica per trovare soluzioni standardizzate verso la definizione di regole comuni per la valutazione della circolarità e mettere le basi per le ricerche future. In generale, emerge il bisogno di sviluppare un sistema di indicatori e strumenti unico e specifico per il settore agroalimentare, oltre che di dati per l'utilizzo di strumenti basati sul ciclo di vita e nuove categorie d'impatto.

Summary

One of the challenges to be faced in the transition from a linear to a circular economy is the development of tools to assist this transformation process. Furthermore, it is necessary to define indicators to assess the degree of circularity and measure the actual environmental benefits of the new economic paradigm. This paper, which is inspired by the 'umbrella reviews', aims to summarise and discuss the results obtained so far in the agrifood sector by analysing the literature reviews in this field. The aim is to highlight the need to strengthen methodological research to find standardised solutions towards the definition of common rules for the evaluation of circularity and to help future research. In general, a unique and specific system of indicators and tools for the agri-food sector, the development of data for life-cycle-based tools and new impact categories are needed.

1. Introduzione

L'aumento della popolazione mondiale e il cambiamento dei modelli di consumo hanno stimolato la ricerca di soluzioni e strumenti per avviare un percorso verso la sostenibilità e la circolarità anche nell'agroalimentare, uno dei settori più importanti a livello mondiale e che genera impatti economici, ambientali e sociali significativi [1]. Con il Green Deal l'Unione

Europea mira a ridurre le emissioni nette di gas serra (GHG) di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990 [2] e l'economia circolare (EC) può svolgere un ruolo decisivo nella lotta al cambiamento climatico. Infatti, si stima che l'applicazione di strategie di EC al sistema alimentare, potrebbe portare ad una diminuzione dei GHG del 49% entro il 2050 [3]. È importante accelerare il percorso da un'economia lineare (EL), basata sul "take-make-waste", a un modello in cui le risorse naturali non siano considerate illimitate e i carichi dovuti alle attività antropiche sull'ambiente siano contenuti. L'EC può essere ampiamente applicata nel settore agroalimentare portando benefici ambientali [4], ma anche sociali ed economici [5]. Spesso i concetti di circolarità e sostenibilità vengono utilizzati indistintamente, presupponendo che una strategia di EC sia di per sé anche sostenibile. Tuttavia, ciò non è sempre vero [6] ma le organizzazioni considerano i concetti sovrapponibili, anche se le motivazioni per l'implementazione delle pratiche di EC possono essere diverse. Infatti, l'EC viene implementata perlopiù come strumento per raggiungere la sostenibilità [7]. Questo studio vuole fornire un'istantanea dello stato dell'arte della ricerca su indicatori e strumenti di EC presenti in letteratura, ispirandosi al concetto di "umbrella review", ampiamente diffuso nel campo della medicina, che integra i risultati di diverse rassegne bibliografiche per una rapida analisi delle evidenze relative ad un determinato argomento [8]. L'analisi riguarda rassegne che hanno censito, classificato e analizzato indicatori e strumenti utilizzati nel settore agroalimentare per studiare il grado di circolarità e favorire la transizione e l'implementazione di strategie di EC, fornendo spunti ulteriori per le ricerche future.

2. Materiali e metodi

Per la rassegna della letteratura sono stati utilizzati i motori di ricerca Scopus, Ebsco Discovery Service e Google Scholar con le seguenti combinazioni di parole chiave: agrifood OR "agri food" OR agricultur*; "circular economy" OR circularity; indicator OR measur* OR metric; review. Inizialmente, i campi di ricerca esplorati sono stati "titolo dell'articolo", "abstract" e "parole chiave". Successivamente, è stata effettuata una seconda ricerca su "tutti i campi" per avere maggiore certezza nell'affidabilità dei risultati. Dato l'elevato numero di paper ottenuti, la ricerca è stata ulteriormente ristretta alle "review full-text" in inglese a partire dal 2012. In Ebsco è stato necessario selezionare anche gli argomenti "economia circolare" e "sostenibilità" a causa dell'eccesso di risultati prodotti e sono stati esclusi tutti i duplicati e tutti gli articoli non correlati all'argomento, in base a titoli, abstract e parole chiave. Infine, sono stati individuati tutti gli articoli di rassegne di casi studio che utilizzano indicatori e strumenti per la valutazione della circolarità e per guidare la transizione verso l'EC nel settore agroindustriale. In totale sono stati individuati sette articoli rilevanti per lo scopo della ricerca.

3. Risultati e discussione

3.1 Criteri di ricerca e obiettivi delle review

Lo studio di Poponi et al. [9] identifica 102 indicatori utilizzati per misurare l'EC e si propone di capire in quali dimensioni spaziali (DS) – macro-meso-micro – e aree di sostenibilità (AS) possano essere applicati. Esposito et al. [10], invece, non si limitano ad una rassegna degli indicatori, ma mirano a valutare in modo più ampio come i modelli di EC possano evolversi e svilupparsi. Velasco-Muñoz et al. [11] partono da due presupposti: il primo è che il quadro generale dell'EC deve essere adattato all'agroalimentare, il secondo è che gli indicatori di circolarità per questo settore non sono sufficienti, né sufficientemente rappresentativi. Pertanto, gli autori hanno effettuato due review: (1) articoli che analizzano principalmente gli indicatori utilizzati in letteratura; (2) paper che analizzano anche o esclusivamente gli strumenti di valutazione, che hanno al loro interno indicatori di performance relativi a diversi aspetti,

così come in Stillitano et al. [12] e Silvestri et al. [13]. I primi analizzano l'utilità di strumenti basati sul ciclo di vita per la valutazione dell'EC. I secondi indagano gli indicatori all'interno degli strumenti di valutazione della sostenibilità e dell'EC rispetto ai tre pilastri della sostenibilità, in base all'obiettivo strategico per cui vengono applicati. Silvestri et al. [14], invece, concentrano la loro analisi sugli indicatori energetici considerando le attività agroalimentari ad alta intensità energetica. Infine, Kyriakopoulos et al. [15] si focalizzano sui progressi tecnologici, non solo in campo agricolo, su cui vengono proposti e applicati i metodi esistenti di valutazione dell'EC, considerando gli impatti tecnologici e socioeconomici. Le parole chiave più utilizzate da tutte le rassegne della letteratura nei principali motori di ricerca (ad esempio, Scopus, EbscoHost e Scholar) sono: "circular economy", "indicator", "agri-food" or "agrifood", "agriculture*", "measur*", "assessment", "performance".

3.2 Le diverse classificazioni degli indicatori e degli strumenti

Una classificazione ricorrente nelle rassegne distingue gli indicatori o gli strumenti in base alla loro DS o alla scala di applicazione e in base al ciclo di vita. Sulla base di un'altra categorizzazione, Stillitano et al. [12] hanno suddiviso gli indicatori in: "indici di circolarità", che misurano il grado di circolarità di un sistema in relazione all'uso efficiente delle risorse e al riciclo dei materiali, e "indicatori di valutazione di EC", che misurano gli effetti (positivi o negativi) della circolarità principalmente a livello di prodotto o servizio. Gli "indicatori di valutazione di EC" sono a loro volta suddivisi in: "indicatori basati sul ciclo di vita" e "altri (non basati sul ciclo di vita)". Un focus sugli strumenti e sugli indicatori si trova in Silvestri et al. [13], che hanno classificato i paper in tre categorie: studi che utilizzano lo strumento LCA (Life Cycle Assessment) (cluster "Assessment-LCA"), studi che propongono linee guida (cluster "Best Practices") e studi che mirano a supportare i processi decisionali (cluster "Decision-making"). In quest'ultimo cluster, gli indicatori sono stati categorizzati secondo l'approccio TBL (Triple Bottom Line) in cui gli indicatori sono suddivisi in base ai pilastri della sostenibilità a cui appartengono, e aggiungendone di nuovi, come l'eco-innovazione. La classificazione basata sul TBL si ritrova anche in Poponi et al. [9] e Velasco-Muñoz et al. [11]. Nel primo caso, ciò si aggiunge alla classificazione per DS vista in precedenza e per ambito di applicazione: "Aria" (clima e salute umana); "Acqua" (carico idrico della produzione e inquinamento); "Suolo" (efficienza dello sfruttamento e dell'uso di pesticidi, fertilizzanti o erbicidi); "Energia" (uso dell'energia ed efficienza energetica); "Rifiuti" (spreco alimentare); "Costo, Valore e Produttività" (costo di produzione, valore economico generato e indicatori di risultato); "Uguaglianza" (inclusione sociale); "Conoscenza e Innovazione" (formazione delle persone, conoscenza e innovazione). In Velasco-Muñoz et al. [11], una tabella a doppia entrata presenta nelle righe tre dimensioni di sostenibilità più una: ambientale, sociale, economica e tecnica. Nelle colonne sono presenti tre strategie di EC: indicatori relativi al restringimento dei cicli delle risorse ("Narrowing", azioni attuate per ottimizzare l'uso delle risorse), strategia di chiusura dei cicli delle risorse ("Closing", riciclo dei residui agricoli in altri processi agricoli) e strategia di rigenerazione ("Regenerating", conservazione e miglioramento del capitale naturale). Infine, in Silvestri et al. [14], che si sono concentrati sugli indicatori relativi agli aspetti energetici, i documenti sono stati classificati in base agli input e alle attività considerate dagli autori dei documenti analizzati per la costruzione degli indicatori. Questi riguardano: l'impatto ambientale (uso di pesticidi/fertilizzanti), la biodiversità (ecosistema, specie e diversità genetica), il suolo (degrado del terreno, qualità del suolo, rese delle colture e altri fattori ambientali che influenzano la produzione agricola), l'acqua dolce (qualità dell'acqua e/o compromissione dell'estrazione), l'atmosfera (qualità dell'aria).

3.3 Analisi degli indicatori e degli strumenti

Indicatori. Per quanto riguarda la DS, a livello macro si trovano, in ordine di frequenza, i seguenti indicatori che valutano: l'impatto del settore agroalimentare sullo sviluppo sostenibile, l'impatto delle attività umane sull'ecosistema e sull'economia, l'impatto lungo il ciclo di vita e il carico sul sistema ecologico. A questo livello, gli indicatori sono quasi equamente distribuiti tra gli 8 ambiti: Acqua; Suolo; Energia; Rifiuti; Costo, Valore e Produttività; Uguaglianza; Conoscenza e Innovazione (escludendo l'ambito "Aria") [9]. A livello meso, gli indicatori sono meno numerosi e rientrano principalmente negli ambiti "Energia", "Costi, valore e produttività" e "Uguaglianza". In ordine di frequenza: indicatori basati sul ciclo di vita, indicatori che valutano il peso sull'ecosistema e misurazione e sviluppo sostenibile [9]. Infine, a livello micro, sempre in ordine di frequenza, troviamo indicatori che misurano: gli effetti delle scelte e dei metodi di produzione sul ciclo di vita, l'onere e il livello di criticità sull'ecosistema, le conseguenze delle scelte dal punto di vista economico e sociale, e il contributo che il prodotto o l'azienda possono dare allo sviluppo sostenibile. Nel complesso, gli indicatori sono distribuiti in tutte le aree di applicazione e coprono tutti gli aspetti rilevanti. Non tutti gli indicatori identificati possono essere utilizzati a tutti e tre i livelli [9]. Inoltre, la maggior parte di essi è applicata a livello macro e micro, mentre un numero minore si trova a livello meso. L'attenzione al livello micro si ritrova anche in Stillitano et al. [12]. Tra i documenti analizzati, solo otto utilizzano indicatori specifici per l'EC e tutti considerano la dimensione più piccola.

Strumenti. Per quanto riguarda gli strumenti di valutazione dell'EC nella produzione agricola, a livello micro, i ricercatori hanno utilizzato le metodologie LCA, WF (Water Footprint) e CF (Carbon Footprint). Tuttavia, la dimensione più studiata è il livello meso, per la necessità di considerare l'intera filiera anziché una singola azienda agricola. A questo livello, la LCA da sola è lo strumento più utilizzato, oltre a WF e LCA combinata con LCC (Life Cycle Costing), CF e MA (Analisi Multicriteriale). Si nota una scarsa applicazione di strumenti a livello macro [10]. Gli strumenti basati sul ciclo di vita sono molto diffusi nel settore agricolo. Sono utili per misurare l'evoluzione dell'adozione di modelli circolari e per tenere conto dello spostamento dei carichi ambientali da una fase all'altra del ciclo di vita oppure da un comparto ambientale all'altro [11]. Questi strumenti sono citati sia analizzando la loro utilità, sia focalizzando e analizzando le categorie di impatto più diffuse e utili per misurare l'agricoltura circolare come motore della sostenibilità. L'LCA può contribuire all'EC attraverso lo sviluppo dell'ecologia industriale [15], influenzando la gestione dei rifiuti e delle risorse. Inoltre, per valutare i benefici dell'EC è necessario considerare diverse variabili lungo l'intero ciclo di vita, che influenzano gli aspetti ambientali, economici e sociali, rendendo la valutazione più complessa [15]. Silvestri et al. [13] hanno osservato che gli studi che utilizzano l'LCA mirano principalmente a valutare l'efficienza energetica e ambientale e lo strumento è spesso utilizzato per monitorare gli interventi di politica ambientale. La maggior parte degli studi analizzati utilizza esclusivamente l'LCA per misurare i benefici dell'implementazione di pratiche di EC [13,15], seguito da Social-LCA (S-LCA) e WF [10]. Altri studi utilizzano la LCA combinata con altri strumenti come la CF, l'LCC, WF e l'analisi Input-Output (IOA) [12]. Inoltre, tra gli altri strumenti impiegati: il nesso cibo-rifiuti-energia, la valutazione energetica del ciclo di vita, l'analisi SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats) e TOWS (Threats, Opportunities, Weaknesses and Strengths), l'inventario del ciclo di vita e la valutazione delle esternalità (ExA) [10] e la valutazione del ciclo di vita basata sulla sostenibilità assoluta (ASLCA) [14]. Nell'applicazione dell'LCA, la categoria di impatto più valutata è il riscaldamento globale, poiché il settore agroalimentare è considerato altamente energivoro e quindi responsabile di notevoli emissioni di gas serra [14]. Seguono l'eutrofizzazione, la tossicità umana e l'ecotossicità, l'esaurimento delle risorse non rinnovabili, l'impoverimento dell'ozono stratosferico, l'acidificazione, l'uso del suolo, le risorse rinnovabili, la formazione di ossidanti fotochimici

e il particolato [16,15]. Le categorie di impatto relative ai flussi di carbonio, azoto e fosforo sono le più significative per i sistemi agricoli. Inoltre, vengono considerati gli indicatori di endpoint. Il metodo di valutazione più utilizzato è ReCiPe, seguito da CML (Centrum voor Milieuwetenschappen in Leiden) e ILCD (International Reference Life Cycle Data System) [12]. Oltre all'LCA, si segnala l'uso contestuale dell'indicatore di domanda energetica cumulativa (CED) per valutare il consumo di energia durante l'intero ciclo di vita di un prodotto o servizio e dell'indicatore di domanda di energia primaria (PED) [12]. La maggior parte degli indicatori si riferisce alla dimensione ambientale, seguiti da quelli economici. Gli aspetti sociali, invece, sono scarsamente indagati e applicati [12,16]. In particolare, gli studi esaminati da Silvestri et al. [13] utilizzano in media venti indicatori, la maggior parte dei quali analizza congiuntamente i tre pilastri. Gli indicatori più utilizzati sono, nell'ordine: "Redditività e investimenti", "Qualità dell'acqua" e "Atmosfera", per le dimensioni economica e ambientale. Per quanto riguarda l'aspetto sociale, un indicatore molto utilizzato è "Qualità della vita". Il quadro generale può cambiare, tuttavia, se si aggiunge una quarta dimensione tecnica. Gli indicatori rilevanti misurano diversi aspetti tecnici, come il consumo di energia e/o l'uso di materiali, soprattutto in relazione all'efficienza. Pertanto, se si considerano quattro pilastri, la maggior parte degli indicatori rientra nella dimensione tecnica [11].

4. Aspetti critici

Dall'analisi delle review emerge la scarsità di studi incentrati sulla misurazione dell'EC nel settore dell'agroalimentare [9]. Tuttavia, esistono diversi indicatori per la valutazione della circolarità che, però, non riescono a fornire una valutazione complessiva. Tali indicatori sono stati, in maggior parte, originariamente progettati per misurare i miglioramenti di efficienza nell'EL poi adattati per l'EC (ad esempio gli indicatori tecnici per misurare l'efficienza) [11]. I miglioramenti dell'efficienza non hanno portato a impatti positivi su molti aspetti ambientali; quindi, sarebbe opportuno passare al concetto di eco-efficienza per un approccio più radicale all'EC. Ciò porterebbe a un maggiore beneficio reciproco tra sistemi ecologici ed economici [11]. Nell'agroalimentare, è importante avere a disposizione dati specifici del contesto per tenere conto degli aspetti geografici e temporali quando si effettuano i confronti poiché questi influenzano i risultati. Non esistono indicatori che possano essere adattati a tutti i contesti agricoli e a tutte le produzioni, ma ognuno ha le sue peculiarità e i risultati non possono essere generalizzati. Per quanto concerne la qualità dei dati, alcuni indicatori si basano su statistiche facilmente ottenibili, altri su semplici misurazioni. Tuttavia, le informazioni necessarie potrebbero non essere disponibili, rendendo più difficile l'applicazione [11]. Per quanto riguarda le DS, molti studi si riferiscono al massimo a due dimensioni (micro, micro e meso, meso e macro). Inoltre, sembra che attualmente siano ancora troppo pochi gli studi che si concentrano sul livello meso e in particolar modo a livello di parco eco-industriale [12,18]. È necessario disporre di indicatori trasversali (cioè applicabili a tutte le DS). Ciò consentirebbe l'attuazione di strategie di EC che possano più facilmente coprire tre livelli sistemici ed economici per generare effetti positivi da una prospettiva comunitaria [9]. Sono necessari nuovi indicatori che valutino aspetti non ancora considerati ed è necessario identificare nuove aree (come i prodotti bio-based) [9]. La sfida per la transizione verso un'EC e la sua misurazione nell'agroalimentare deve passare attraverso l'armonizzazione di strumenti e indicatori e la loro integrazione. Questo evita il rischio di distorsioni nel contesto analizzato [12,13]. L'utilizzo di singoli indicatori non genera risultati utili. Infatti, una visione olistica del sistema oggetto di studio evita di spostare l'impatto da un aspetto ambientale a un altro e da una DS o area di sostenibilità a un'altra. Un'analisi della letteratura ha mostrato come l'uso di strumenti di valutazione diversi porti a risultati diversi e difficilmente confrontabili [10]. È evidente che per i ricercatori è difficile considerare il gran numero di variabili diverse che compongono

l'intero ciclo di vita, da una prospettiva ambientale, economica e sociale [15]. Un altro aspetto importante riguarda il coinvolgimento dell'intera filiera perché per passare da un modello lineare all'EC è essenziale il coinvolgimento di tutti gli attori della stessa. Pertanto, è necessario uno strumento comune di valutazione della circolarità. Ciò consentirebbe di confrontare le prestazioni e le pratiche circolari tra le diverse filiere con collaborazione verticale (tra le fasi) e orizzontale (tra le diverse filiere) [10]. Per queste valutazioni è fondamentale l'uso di strumenti basati sul ciclo di vita, se accompagnati da indicatori specifici che misurano la circolarità. Manca un'attenzione agli aspetti sociali, nonostante siano talvolta menzionati con la S-LCA [12]. La MFA sembra essere un valido supporto per valutare la circolarità e l'IOA applicata al ciclo di vita di un prodotto permette di integrare la valutazione degli impatti ambientali con gli impatti degli shock economici positivi o negativi e le possibili influenze sull'economia. L'"indicatore di circolarità dei materiali" è ancora uno degli strumenti più solidi per valutare l'EC. Esso comprende tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto allo stesso modo dell'LCA, ma nella valutazione della circolarità l'analisi di un solo ciclo di vita non è sufficiente perché ogni modello circolare influenza quello successivo [12]. Pertanto, per integrare le due metodologie, è necessario innanzitutto estendere i confini del sistema ai processi che chiudono il ciclo (ad esempio, il riciclo e il riutilizzo nel ciclo successivo) [12]. La maggior parte degli studi restringe i confini del sistema concentrandosi sull'uso di risorse energetiche e materiali e questo non è sufficiente per misurare il grado di circolarità, che a sua volta non può definire la sostenibilità di un prodotto o di un processo. Nei paper analizzati, emerge che la circolarità rimane un obiettivo da raggiungere, piuttosto che qualcosa da misurare, ma ciò che si misura di più è la sostenibilità [12]. In definitiva, i ricercatori raramente utilizzano gli indicatori di circolarità insieme a quelli di impatto e i confini dell'analisi di sistema non sono abbastanza ampi per avere una prospettiva di circolarità a tutto tondo [12].

5. Conclusioni e prospettive future

Dall'analisi delle rassegne si possono tracciare diverse direzioni auspicabili per la ricerca futura nella valutazione della circolarità e dell'EC attraverso strumenti e indicatori nel settore dell'agroalimentare. È emersa la necessità di sviluppare una metrica e quindi un sistema unico e comune di indicatori per misurare l'EC. L'agroalimentare è considerato un settore chiave per la transizione verso una EC grazie al suo forte potenziale sotto diversi aspetti, da quello energetico fino alla chiusura dei cicli. È quindi necessario sviluppare nuovi indicatori, completare la panoramica di quelli esistenti e affiancarla a un'analisi del loro livello di applicazione, tenendo conto anche del ruolo delle innovazioni tecnologiche e dell'integrazione con i modelli attuali di EC. Tuttavia, attualmente, esistono pochi indicatori specifici per il settore, anche se riescono a coprire tutte le dimensioni della sostenibilità. È quindi necessario sviluppare metodi di valutazione validi per il settore, soprattutto nella dimensione meso-spaziale. Gli strumenti di valutazione devono essere utilizzati in modo integrato, abbracciando i tre pilastri della sostenibilità – ambientale, sociale ed economica – e analizzandoli per evidenziare punti di forza e di debolezza. Devono essere in grado di confrontare soprattutto le prestazioni ambientali ed economiche e devono essere semplici da usare per creare e valutare nuovi modelli di produzione agroindustriale sostenibile e circolare all'interno delle filiere. Tuttavia, per un uso corretto degli strumenti basati sul ciclo di vita, e in particolare dell'LCA, è necessario aumentare i dati disponibili nei database e migliorarne la qualità sviluppando dataset specifici per ogni filiera, nonché implementare nuovi strumenti tecnologici che permettano di rilevare i dati in tempo reale con risparmio di tempo e risorse economiche (come, ad esempio, le tecnologie IoT – Internet of Things). Strumenti comuni di valutazione delle prestazioni circolari per tutte le filiere agroalimentari sono essenziali per effettuare confronti tra le diverse fasi e differenti filiere, per guidare le scelte strategiche e dei consumatori). Allo stesso tempo, la

diversificazione consente di essere più precisi e affidabili. Inoltre, le categorie di impatto degli strumenti di analisi del ciclo di vita (LCA, LCC, S-LCA) devono essere ampliate includendo indicatori in grado di misurare il livello di innovazione e cooperazione nel sistema, considerati fondamentali per la transizione da un sistema lineare a uno circolare e sostenibile.

Bibliografia

- [1] **Turi A., Goncalves G., Mocan M.**, “Challenges and competitiveness indicators for the sustainable development of the supply chain in food industry”, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2014, 124:133-141;
- [2] **EU Commission**, *The European Green Deal*. Com/2019/640 Final, 2019;
- [3] **The Ellen McArthur Foundation**, “Completing the picture: How the circular economy tackles climate change”, 2019. <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture> (ultimo accesso 10 Maggio 2022);
- [4] **Muscio A., Sisto R.**, “Are Agri-Food Systems Really Switching to a Circular Economy Model? Implications for European Research and Innovation Policy”, *Sustainability*. 2020, 12(14):5554;
- [5] **Zabaniotou A.**, “Redesigning a bioenergy sector in EU in the transition to circular waste-based Bioeconomy-A multidisciplinary review”, *Journal of Cleaner Production*. 2018, 177:197-206;
- [6] **Haupt M., Hellweg S.**, “Measuring the environmental sustainability of a circular economy”, *Environmental and Sustainability Indicators*. 2019, 1:100005;
- [7] **Walker A.M., Opferkuch K., Roos Lindgreen E., Raggi A., Simboli A., Vermeulen W.J., Salomone R.**, “What is the relation between circular economy and sustainability? Answers from frontrunner companies engaged with circular economy practices”, *Circular Economy and Sustainability*. 2021, 1-28;
- [8] **Fragkos K.C.**, “Reflective practice in healthcare education: an umbrella review”, *Education Sciences*. 2016, 6(3), 27;
- [9] **Poponi S., Arcese G., Pacchera F., Martucci O.**, “Evaluating the transition to the circular economy in the agri-food sector: Selection of indicators”, *Resources, Conservation and Recycling*. 2022, 176:105916;
- [10] **Esposito B., Sessa M.R., Sica D., Malandrino O.**, “Towards circular economy in the agri-food sector. A systematic literature review”, *Sustainability*. 2020, 12(18):7401;
- [11] **Velasco-Muñoz J.F., Mendoza J.M.F., Aznar-Sánchez J.A., Gallego-Schmid A.**, “Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators”, *Resources, Conservation and Recycling*. 2021, 170:105618;
- [12] **Stillitano T., Spada E., Iofrida N., Falcone G., De Luca A. I.**, “Sustainable agri-food processes and circular economy pathways in a life cycle perspective: State of the art of applicative research”, *Sustainability*. 2021, 13(5):2472;
- [13] **Silvestri C., Silvestri L., Piccarozzi M., Ruggieri A.**, “Toward a framework for selecting indicators of measuring sustainability and circular economy in the agri-food sector: a systematic literature review”, *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2022, 1-39;
- [14] **Silvestri L., Silvestri C., Forcina A., De Luca C.**, “A review of energy-based indicators for assessing sustainability and circular economy in the agri-food production”, *Procedia Computer Science*. 2022, 200:1756-1765;
- [15] **Kyriakopoulos G.L., Kapsalis V.C., Aravossis K.G., Zamparas M., Mitsikas A.**, “Evaluating circular economy under a multi-parametric approach: A technological review”, *Sustainability*. 2019, 11(21):6139.

L'importanza della co-progettazione nello sviluppo di un progetto di simbiosi industriale

*Elisa Amodeo elisa.amodeo@inventolab.it, Giulia Detomati, Claudio Avella, Rita Trombin – InVento Lab, Milano
Andrea Grillenzoni a.grillenzoni@garcspa.it, Aleck Preti - GARC SpA, Modena*

Riassunto

Dalla collaborazione tra due B Corp, GARC, impresa generale di costruzione, e InVento Innovation Lab (tra le prime B Corp in Italia e partner del B Lab Europe) è stato sviluppato un innovativo percorso di formazione e attivazione di processi virtuosi sul tema della Circular Economy dedicato a fornitori e partner, con l'obiettivo di sviluppare il progetto di simbiosi industriale REBOOT.

REBOOT, lanciato nel 2021 dall'affiliata GARC Ambiente, vuole diventare una rete di imprese rigenerativa, che utilizza il business come forza positiva per favorire una società più giusta, inclusiva e rispettosa della biosfera.

Il successo di REBOOT dipende, oltre che dalla ricerca e innovazione, dalla relazione tra le persone, ovvero dalla co-progettazione partecipata, come luogo da cui nascono le sinergie in termini di competenze, asset, obiettivi e bisogni.

Summary

From the collaboration between two B Corps, GARC (construction company) and InVento Innovation Lab (among the first B Corps certified in Italy and partner of B Lab Europe) an innovative training on circular economy and change making process have been developed for suppliers and partners, with the aim of developing the industrial symbiosis project REBOOT.

REBOOT, launched in 2021 by GARC's subsidiary GARC Ambiente, aims to become a regenerative business network, which uses business as a positive force to foster a more just, inclusive and respectful society for the biosphere.

The success of REBOOT depends, in addition to research and innovation, on the relationship between people, i.e. through participatory co-design where synergies such as skills, assets, objectives and needs arise.

1. Introduzione

Il settore delle costruzioni è una delle principali fonti di consumo di materiali e generazione di rifiuti speciali da costruzione e demolizione (i cosiddetti C&D).

Qualche dato: su 100 mld di tonnellate di materiali usati ogni anno, 38,8 vengono impiegati nell'edilizia. Il settore è responsabile del consumo di circa il 50% di tutte le materie prime estratte a livello mondiale: 42 miliardi di tonnellate l'anno [1]. Gli edifici sono responsabili del 40% del consumo di energia primaria (in maggior parte dei casi da fonti non rinnovabili) e del 36% delle emissioni di CO₂. Il consumo di cemento genera il 3% delle emissioni globali nella sola fase produttiva a cui vanno aggiunte quelle dovute al trasporto e alla posa [2].

Il quantitativo di rifiuti speciali pericolosi prodotto, nel 2019, supera i 10,1 milioni di tonnellate. Di questi 8,5 milioni di tonnellate sono rifiuti da operazioni di costruzione e demolizione che aumentano del 14,2% rispetto al dato 2018. A livello di macro area geografica, i rifiuti C&D rappresentano, nell'anno 2019, il 47,2% dei rifiuti complessivamente prodotti nel Centro, mentre nel Nord e nel Sud Italia tale percentuale risulta pari, rispettivamente, al 45,4 % e al 44,6%. Regione Lombardia è quella che produce la maggior quantità di rifiuti da C&D, pari a 14,6 milioni di tonnellate. Segue Regione Veneto con 7 milioni di tonnellate, Piemonte con 6 milioni di tonnellate ed Emilia Romagna con 5,3 milioni di tonnellate [3].

Anche nel settore dell'edilizia è in corso una vera e propria rivoluzione circolare [2] di cui GARC spa, impresa di costruzioni e gestione rifiuti, certificata B Corp dal 2020, insieme ad InVento Innovation Lab, impresa sociale, società B Corp dal 2017, specializzata in educazione, formazione e consulenza ambientale e rigenerativa, hanno scelto di essere attori protagonisti.

2. Relazione

I business rigenerativi attingono alla creatività e all'innovazione. Ispirano i propri collaboratori a usare la loro iniziativa per creare effetti sistemici che possono migliorare comunità, il territorio ed interi paesi. Una innovazione "disruptive" avviene quando un'organizzazione riesce a guardare oltre quello che esiste nel presente e a ricercare qualcosa che desidera esista. Una tale azienda può scorgere cose che altre non vedono: nuovi pattern emergenti e tendenze di un mondo in evoluzione. [4]

GARC, entrando nel movimento B Corp, si è affermata come impresa "rigeneratrice", che utilizza il business come forza positiva per favorire una società più giusta, inclusiva e rispettosa della biosfera.

La vision che spinge GARC nel suo business è quella di ri-costruire l'ambiente realizzando edifici capaci di interagire positivamente con il contesto e offrire servizi tecnologici evoluti. Ma non solo: con GARC Ambiente, società affiliata a GARC spa, l'azienda è impegnata nel supportare la concretizzazione di modelli circolari, attraverso progetti di simbiosi industriale basati su un rapporto duraturo tra aziende, che prevede lo scambio di risorse al fine di creare un beneficio comune, per le imprese e l'intera comunità. Nasce così il progetto REBOOT, avviato nel 2021, ed oggi in fase di sviluppo grazie alla ricerca di eco-innovazioni in parallelo ad un processo di attivazione e co-progettazione di aziende partner. A tal fine, InVento Innovation Lab ha creato per GARC un percorso di formazione e co-progettazione, realizzato tra marzo e giugno 2022, dedicato ad un panel di aziende del settore, coinvolte da GARC con il preciso scopo di creare una conoscenza comune sui temi legati alla roadmap dell'Agenda 2030, i modelli B Corp e Benefit, con un affondo particolare rispetto all'economia circolare, intesa come imprescindibile nuova frontiera del business. Accanto a questo sono stati ideati dei laboratori di co-progettazione per dare inizio alla condivisione di vision, esperienze e progetti, scoperta di sinergie, identificazione dei bisogni e messa a disposizione di know-how, competenze e materiali, che sono alla base di un progetto di simbiosi industriale. Scopo è quello di ripensare all'intera filiera, incidere sugli impatti della catena di fornitura e innescare il trade off crescita-impatti, accelerando la decarbonizzazione a livello globale.

2.1 Il progetto di simbiosi industriale REBOOT

Per simbiosi industriale si intende il trasferimento di risorse tra due o più industrie dissimili, intendendo con "risorse" non solo i materiali (sottoprodotti o rifiuti), ma anche cascami energetici, servizi, expertise. La simbiosi industriale, attraverso il trasferimento di risorse di scarto in esubero o sottoutilizzate da un'industria ad un'altra, consente di conseguire benefici economici e ambientali derivanti dal mancato smaltimento dei rifiuti e dal consumo evitato di

risorse primarie. Complessivamente, consente quindi di ottenere soluzioni di tipo win-win in cui tutti gli attori coinvolti possono trarre vantaggio dalle reciproche interazioni. La simbiosi industriale si presta anche come uno strumento utile di pianificazione territoriale per la valorizzazione locale delle risorse, indubbio fattore di eco-innovazione e di arricchimento per il territorio. In un'ottica olistica di gestione delle aree industriali diventa, inoltre, uno strumento imprescindibile per garantire un uso più efficiente delle risorse e per innescare le condizioni di competitività territoriale ed economica [5].

Partendo da tali imprescindibili principi, il progetto REBOOT realizza il passaggio da un'economia lineare "consuma, produci, dismetti" ad un'economia circolare, lavorando sulle cinque aree di impatto, proposte dalla certificazione B Corp (Governance, Lavoratori, Comunità, Ambiente, Clienti). Questo approccio consente di tenere in considerazione la complessità delle variabili e degli elementi che interagiscono nei processi quotidiani, per esempio aspetti sociali, economici, energetici, ambientali, culturali e relazionali. Facendo leva su un tessuto industriale evoluto e molto dinamico come quello della "Via Emilia", REBOOT ha gli obiettivi di:

- Promuovere la valorizzazione di risorse e materiali;
- Ridurre lo smaltimento dei rifiuti;
- Migliorare l'efficienza nell'uso delle risorse naturali, per diminuire la dipendenza della produzione da materie prime vergini;
- Diminuire l'impatto ambientale dei processi, rendendoli al 100% sostenibili per le persone e per l'ecosistema.

Tra gli aspetti chiave che consentono il realizzarsi della simbiosi industriale ci sono la collaborazione tra imprese e le opportunità di sinergia disponibili in un opportuno intorno geografico ed economico [5][6]. Il gruppo delle aziende coinvolte (fornitori e partner di GARC) si profila completo dal punto di vista dei prodotti e servizi necessari all'intero ciclo di vita dell'ambiente costruito. Comprende infatti aziende di produzione e commercio di prodotti per il green building (es. Kerakoll spa, Imper Italia s.r.l., Unical SpA - gruppo Buzzi Unicem SpA), imprese di costruzioni (Garc spa, Mollo spa, Hilti Italia), fornitori di servizi IT (Enerbrain srl), aziende leader dell'automotive e in generale delle tecnologie innovative (Ducati Motor Holding SpA e Automobili Lamborghini SpA), aziende di automazione e distribuzione elettrica (Schneider Electric), aziende di trattamento e smaltimento rifiuti (Garc Ambiente spa).

2.2 Il percorso di formazione e co-progettazione

La co-progettazione è un approccio che tenta di coinvolgere attivamente più stakeholder (ad es. dipendenti, partner, clienti) nel processo di progettazione per soddisfarne le esigenze e consentendo loro di essere i *changemaker* attivi del loro mondo; non è uno stile di progettazione, ma un nuovo approccio ai processi e alle procedure di progettazione. Ricerche recenti suggeriscono che i progettisti creano concept ed idee più innovativi quando lavorano in un ambiente di co-progettazione insieme ad altri, rispetto a quando generano idee da soli [7][8]. Il libro "Design as Democracy" [9] definisce la co-progettazione come "Democrazia pratica in azione", in quanto i processi partecipativi coinvolgono nel processo decisionale tutti i soggetti interessati. Con l'obiettivo di arrivare ad avere decisioni migliori, più efficaci, le pratiche partecipative sono modalità di confronto, di apertura e di cooperazione. Questo approccio, affidandosi a tecniche e strumenti volti allo sviluppo di soluzioni che riconoscono e rispondono ai bisogni e diritti di tutti, a livello ecosistemico, risponde efficacemente a sfide su scala locale e globale in continua evoluzione. La co-progettazione può essere utilizzata in diverse fasi dello sviluppo dell'ambiente costruito, in particolare per progetti di rigenerazione a livello comunitario [10]. Da un punto di vista della facilitazione del processo, il primo elemento

importante è avere chiari gli obiettivi e le finalità della progettazione che si vuole realizzare. Un secondo elemento è l'apertura al dialogo e l'ascolto attivo di tutte le parti coinvolte. Un altro elemento fondamentale del quale occorre tenere conto è avere disponibilità di risorse adeguate, sia finanziarie che umane, per potere progettare, condurre e gestire il processo sino alla presa di decisione finale [11]. Ulteriori aspetti da considerare sono il tempo e lo spazio in cui avviene il processo di facilitazione: se un gruppo di persone intende incontrarsi per discutere qualcosa, ha bisogno di un tempo e uno spazio adatti a loro e al compito che sono chiamati ad assolvere [12]. È stato cruciale scegliere uno spazio adeguato, ampio, nel quale tutti i partecipanti si sentissero a proprio agio nell'esprimere bisogni e idee.

A partire da questi principi InVento Innovation Lab ha ideato un processo, specificamente dedicato ai partner di GARC, consistente in un ciclo di workshop finalizzato all'ideazione di soluzioni di simbiosi industriale che possano dare pieno compimento al progetto REBOOT.

Tre i moduli proposti:

- Un modulo formativo, per fornire una base di conoscenza comune;
- Un "Challenge Workshop", finalizzato a indurre ogni azienda, a ragionare sui propri prodotti o servizi, modelli di business e processi per individuare soluzioni di conversione da modelli lineari a modelli circolari, sistemici e collaborativi;
- Un "Activism Workshop", finalizzato a progettare delle azioni in cui mettere in relazione esperienze, progetti, competenze e bisogni con le altre aziende partecipanti nell'ottica della simbiosi industriale.

Il processo di co-progettazione è stato guidato attraverso un'attività di facilitazione in presenza, sottoforma di laboratorio, realizzato in uno spazio ampio, adatto al numero dei partecipanti e con ampie vedute sulla natura circostante.

2.2.1 Basi di conoscenza comune

Due sono stati gli incontri tecnici-divulgativi previsti allo scopo di fornire ai partecipanti gli elementi necessari per affrontare con maggiore consapevolezza il successivo percorso di co-progettazione.

Tra gli argomenti esposti: concetti base di sostenibilità ambientale ed economia rigenerativa, definizione e concetti base dell'economia circolare, inquadramento normativo, impatti del settore C&D, best practice e modelli di business circolari e rigenerativi. È stata infine fornita ai partecipanti una cassetta degli attrezzi, con diversi materiali di guida e aiuto per la partecipazione ai successivi workshop.

2.2.2 Il challenge workshop

Obiettivo di questa prima parte di partecipazione attiva è stato quello di fare analizzare il proprio modello di business alle aziende, dal punto di vista delle risorse consumate e dei sottoprodotti, scarti ed emissioni generati. Dopo aver creato un gruppo di lavoro per ogni azienda, è stato chiesto di scegliere un servizio o prodotto aziendale e analizzarne, attraverso lo schema di Fig. 1 (in alto a sx), le fasi di vita, seguendo i principi base del Life Cycle Assessment (LCA):

- identificazione di un prodotto/processo;
- identificazione del confine del sistema;
- identificazione dei principali input e output di sistema: materie estratte e materie prime necessarie al processo, assetti (impianti e fabbricati), energia, macchinari, infrastrutture, principali scarti, principali emissioni.

I partecipanti sono quindi stati invitati ad individuare azioni, buone pratiche e progetti per ispirare azioni di cambiamento del proprio modelli di business e di produzione, tenendo conto di:

- gerarchia dei rifiuti, privilegiando Prevenzione, Riutilizzo, Recupero di Materia;

- uso di fonti rinnovabili di energia;
- uso di materia prima biologica e atossica;
- modelli di business: Prodotto come Servizio, Rigenerazione a catena, Upcycling, Life-extension [13];

Al fine di stimolare la generazione di idee, nella cassetta degli attrezzi, è stato fornito un insieme di card per la progettazione rigenerativa, suddivise in tre categorie (Materiali e produzione, Prodotti e servizi, Finanza e Organizzazione), che suggeriscono agli utilizzatori azioni da implementare o modelli da applicare. Il risultato è stato, per ogni gruppo, un progetto esposto in sessione plenaria attraverso lo schema di Fig. 1 (in alto a dx).

2.2.3 Activism workshop

L'Activism Workshop ha avuto invece l'obiettivo di creare le condizioni per una collaborazione tra le aziende della filiera di GARC, in ottica di simbiosi industriale. Sulla base dei risultati emersi nel Challenge Workshop, ed in particolare sui bisogni di partnership espressi dalle aziende, si sono creati due nuovi gruppi di lavoro unendo rappresentanti di aziende diverse. I partecipanti hanno, quindi, generato, a partire dagli input e gli output dei processi produttivi selezionati durante il Challenge Workshop, due nuovi progetti di simbiosi industriale con l'aiuto di un canvas per la progettazione circolare al fine di individuare obiettivi, caratteristiche e gli impatti del progetto. I due esiti sono stati presentati in una sessione plenaria finale, attraverso uno storytelling pitch (Fig. 1, in basso al centro), al fine di condividere i risultati e lanciare una call to action per proseguire il processo.

2.3 Principali esiti del percorso proposto

Il percorso proposto ha permesso la validazione di una metodologia di co-progettazione attraverso un processo che, in primis, ha creato le condizioni per:

- coinvolgere i partner di una filiera produttiva attorno al tema dell'economia circolare e rigenerativa, fornendo un ampio spazio formativo, con esempi concreti di casi studio;
- fornire ai rappresentanti delle aziende un ambiente protetto e propositivo per riflettere, con il supporto dei facilitatori, sui propri modelli di business e gli impatti ambientali generati;
- creare uno spazio fertile per consentire la generazione di idee a partire da una condivisione di competenze e l'espressione chiara delle proprie esigenze e bisogni sia all'interno dei propri processi aziendali sia come rete di aziende.
- avviare la co-progettazione di azioni disruptive, ispirate al paradigma rigenerativo, facilitato dalla condivisione, nonché dalla creazione di contatti inediti.

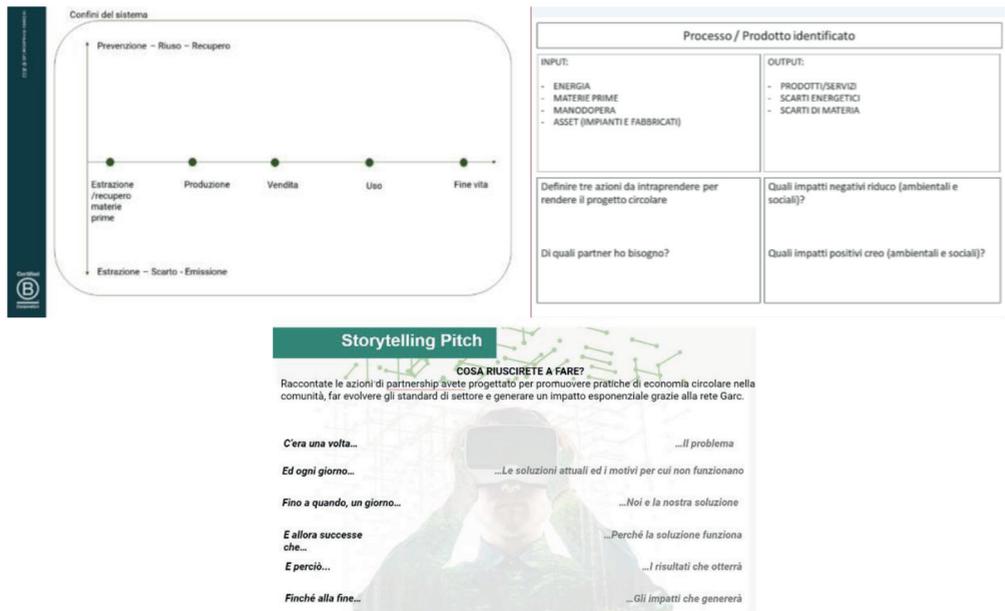


Fig. 1 – Alcuni strumenti della cassetta degli attrezzi fornita ai partecipanti dei workshop

Tra le idee generate dai gruppi di lavoro emerge quella di una piattaforma web B2B (business-to-business) per lo scambio di scarti industriali, al fine di ottimizzare l'uso di materie prime seconde e il matching tra diversi business, mettendo a disposizione delle schede tecniche dei materiali, ottenute attraverso analisi di laboratorio, effettuate da partner del progetto, e con un'attenzione particolare anche alla riduzione degli impatti logistici creati dagli eventuali scambi. Questo, insieme ad altri spunti generati dai gruppi di lavoro, fa emergere il bisogno delle aziende partecipanti, di soluzioni innovative innanzitutto dal punto di vista del processo e solo in seconda battuta dal punto di vista del servizio o del prodotto. La progettazione partecipata ha infatti messo in luce anche i friction factors di cui è necessario tenere in conto al fine di rendere più funzionale un servizio, come una piattaforma B2B per lo scambio di risorse in senso lato, già sperimentato, avviato e disponibile. Si pensi, ad esempio, alla piattaforma Symbiosis¹, realizzata e gestita dal laboratorio per la valorizzazione delle risorse (RISE) della divisione per l'uso efficiente delle risorse (USER) nel dipartimento della sostenibilità dei sistemi produttivi (SSPT) di ENEA, nell'ambito del Progetto "Ecoinnovazione Sicilia" [14].

Anche tenendo conto degli stimoli emersi dai partner, il centro di ricerca di GARC ambiente ha poi avviato alcuni approfondimenti legati all'eco-innovazione tra cui: nel comparto ceramico, riconversione delle materie risultanti in materie prime utili per l'industria della ceramica, dei laterizi, del cemento e delle marmoresine; nell'industria tessile, recupero di materiali di scarto; nel settore dell'automotive, recupero di fibre di carbonio di risulta; riconversione di materie plastiche per la realizzazione di manufatti per mezzo di processi di stampa 3D ed altre tecnologie ed alcune tipologie di gas; utilizzo di materiali plastici, lignei e di altra natura nel riutilizzo in conglomerati bituminosi e cementizi.

¹ Symbiosis - Home (industrialsymbiosis.it)

3. Conclusioni

REBOOT è un progetto di simbiosi industriale, realizzato attraverso un approccio bottom-up, guidato cioè dalla relazione tra le imprese, sulla base di specifici accordi tra interlocutori [5] [6] che creeranno una comunità interconnessa per gli scambi di materia, energia, competenze o servizi. Come primo passo, è stata creata una rete territoriale di imprese che si sono impegnate a mettere in profonda discussione il proprio modello di business.

Il processo di co-progettazione illustrato, guidato da GARC come impresa capofila e progettato da InVento Lab, ha permesso di validare l'importanza della partecipazione e del coinvolgimento diretto dei soggetti, come elemento fondamentale di un sistema di simbiosi industriale innovativo che vuole fare delle relazioni il principale collante. A tal fine, è stata cruciale la preparazione di un "ambiente protetto" nel quale venissero alternati momenti formativi, per creare un linguaggio comune, a momenti di ispirazione, attraverso la condivisione di esperienze, come i progetti di GARC, o la presentazione di best practice di economia circolare, e venisse incentivata la creazione di relazioni e networking, attraverso la condivisione di bisogni e idee e la co-progettazione di soluzioni alle sfide lanciate da GARC. Da qui sono state delineate le basi da cui si svilupperà il progetto REBOOT:

- reti di partenariato trasversali formate da soggetti con competenze complementari, come elemento fondamentale per la simbiosi industriale;
- processi trasparenti in cui viene facilitato lo scambio di informazioni relativamente alla materia prima seconda generata nei diversi processi produttivi;
- coinvolgimento, attraverso la co-progettazione, dei partner al fine di identificarne al meglio i bisogni, integrarne i processi e prevenire i friction factors nell'implementazione delle azioni;
- il vantaggio nello sfruttare tecnologie esistenti e già utilizzate (es. modelli BIM, passaporto dei materiali) all'interno di un progetto di simbiosi industriale con una rinnovata consapevolezza;
- azioni di eco-innovazione disruptive, ispirate all'economia rigenerativa, che puntino alla sostituzione delle materie prime in diverse filiere grazie al recupero selettivo degli scarti.

Bibliografia

- [1] **Daniele Di Stefano**, *Cemento: Il materiale più distruttivo del mondo o una leva dell'evoluzione?* Materia Rinnovabile numero 38 / Edilizia circolare, Novembre 2021
- [2] **Emanuele Bompan e Marco Caffi**, *Unreal Estate: un nuovo modo di costruire*, Materia Rinnovabile, Numero 38 / Edilizia circolare, Novembre 2021
- [3] **Centro Nazionale dei Rifiuti e dell'Economia Circolare**, *Rapporto Rifiuti Speciali*, Anno 2021, ISPRA Rapporti n. 345/2021
- [4] **Carol Sanford**, *The Regenerative Business: Redesign Work, Cultivate Human Potential, Achieve Extraordinary Outcomes*, October 10, 2017
- [5] **Laura Cutaia e Roberto Morabito**, *Ruolo della Simbiosi industriale per la green economy, Uno strumento innovativo per la chiusura dei cicli delle risorse*, EAI Speciale I-2012 Verso la green economy
- [6] **M.R. Chertow (2000)**, *Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. Annual Review of Energy and Environment*, 25: 313-337
- [7] **Mitchell, V., Ross, T., Sims, R., and Parker, C. J. (2015)**. Empirical investigation of the impact of using co-design methods when generating proposals for sustainable travel solutions. *CoDesign* 12, 205–220. doi: 10.1080/15710882.2015.1091894
- [8] **Trischler, J., Pervan, S. J., Kelly, S. J., and Scott, D. R. (2018)**. The value of codesign. *J. Serv. Res.* 21, 75–100. doi: 10.1177/1094670517714060
- [9] **Peña, D., Allen, D. J., Hester Jr., R. T., Hou, J., Lawson, L. L., et al. (2017)**. *Design as Democracy: Techniques for Collective Creativity*. Island Press: Washington, DC. doi: 10.5822/978-1-61091-848-0

- [10] **Kuiper G. (2007)**. Participatory planning and design in the downtown east side: reflections on Global Studio Vancouver. *Australian Planner* 44, 52–53. doi: 10.1080/07293682.2007.9982573
- [11] **Laura Manconi**, *Vantaggi e criticità dei processi partecipativi*, FORMEZ PA, Ottobre 2015
- [12] **Harrison Owen (2008)**. *Open Space Technology – Guida all'uso*, Genius Loci Editore.
- [13] **Bompan Emanuele, Brambilla Ilaria Nicoletta (2021)**, *Che cos'è l'Economia Circolare*, Ambiente Edizioni
- [14] **ENEA (2011-2015)**. Progetto “*Supporto allo sviluppo produttivo nel Sud: interventi pilota per la sostenibilità e competitività del turismo e delle aree industriali*”, su fondi MIUR

End of waste: l'esperienza applicativa

*Alessandra Carboni carboni@montanambiente.com, Laura Conti, conti@montanambiente.com
Francesca Sala sala@montanambiente.com
Montana SpA, Milano*

Riassunto

L'attuale assetto normativo prevede che, per produrre da un rifiuto una nuova materia, gli impianti debbano autorizzare le operazioni di recupero ai sensi dell'art. 184 ter comma 3 ter del D.Lgs 152/06, che indica i principi da rispettare ai fini della cessazione della qualifica di rifiuto; in questo contesto l'SNPA ha emanato le linee guida per l'applicazione della disciplina End Of Waste.

La creazione delle condizioni per un mercato delle materie prime EoW competitivo in termini di disponibilità, prestazioni e costi, dipende significativamente dall'esistenza di normazione tecnica specifica e dalle modalità di applicazione dei criteri per cessare la qualifica di rifiuto.

L'approccio tenuto nell'ambito del rilascio del parere ARPA sulla procedura EoW delle autorizzazioni "caso per caso" riveste significativa importanza per agevolare le necessarie sinergie per il raggiungimento della vera simbiosi industriale, senza aggravarne gli oneri e la regolamentazione.

Summary

In order to convert waste into a recovered product, the current regulatory framework requires for the waste treatment plants to obtain an authorization for the recovery operations according to art. 184 ter comma 3 ter of D.Lgs 152/06, that specifies the end-of-waste status criteria. In this context, the National System for Environmental Protection (SNPA) issued the guidelines for the implementations of the End Of Waste regulation.

A competitive market of EoW products, in terms of performance, availability and cost, significantly depends on the existence of specific technical regulations and on the implementations of the end-of-waste status criteria.

Regarding in particular the release of the ARPA technical permission, the authorization "caso per caso" represent a significant facilitation of the authorization processes without increasing the burden and the regulation.

1. Introduzione

La cessazione della qualifica di rifiuto è regolamentata a livello europeo dall'art. 6 della direttiva 2008/98/CE, come da ultimo modificata ad opera della direttiva 2018/851/UE e recepita nel nostro ordinamento nazionale dall'art. 184 ter del D.Lgs. n. 152/06. Tale articolo normativo ha previsto che la definizione dei criteri relativi all'End of Waste (EoW) avvenga in primo luogo attraverso regolamento comunitario e secondariamente mediante uno o più decreti ministeriali. Lo stesso articolo stabilisce, in conformità alla normativa comunitaria, che in mancanza di criteri specifici adottati tramite atto normativo per l'EoW, gli stessi possano essere definiti e verificati "caso per caso" all'interno dell'iter di autorizzazione, previo parere obbligatorio e vincolante dell'ISPRA o dell'Agenzia regionale per la protezione ambientale territorialmente competente.

In questo contesto normativo è stato dato mandato, attraverso la legge 128/2019, al Sistema nazionale per la protezione dell'ambiente per l'effettuazione dei controlli sugli impianti per il recupero dei rifiuti che hanno ricevuto l'autorizzazione dalle regioni. Per ottemperare a questo mandato ed operare le verifiche sugli impianti in modo omogeneo su tutto il territorio nazionale, SNPA ha stilato le Linee Guida SNPA n. 23/2020, poi aggiornate con il documento n. 41/2022: "Linee guida per l'applicazione della disciplina End of Waste di cui all'art. 184 ter comma 3 ter del D.Lgs. n. 152/06". [1]

Il quadro di riferimento nazionale per la definizione di criteri specifici secondo cui stabilire quando un rifiuto, dopo il recupero, cessa di essere tale, assume significativa importanza ai fini dello sviluppo di nuove filiere fondate sul recupero di materia ed ha rilevanti riflessi sia sotto il profilo economico che sotto il profilo ambientale.

2. Relazione

2.1 End of Waste: i diversi approcci di applicazione nei paesi europei

La normativa europea istituisce un meccanismo finalizzato all'adozione di criteri EoW "dettagliati" per singole tipologie di rifiuti, in base al quale:

- Gli Stati membri possono stabilire criteri "dettagliati" (la "regolamentazione tecnica" va previamente notificata alla Commissione Ue);
- La Commissione europea deve monitorare l'evoluzione dei criteri nazionali e, qualora lo reputi necessario, sviluppare criteri a livello Ue per determinati rifiuti.

L'Unione Europea ha attualmente emanato solo tre Regolamenti che definiscono i criteri di cessazione della qualifica di rifiuto relativi a specifiche tipologie di rifiuto, che trovano uniforme applicazione in tutti gli Stati Membri: (Tabella 1)

| Decreto | Oggetto | Stato |
|-------------------------------|-------------------|------------|
| Regolamento (UE) n. 333/2011 | Rottami metallici | Pubblicato |
| Regolamento (UE) n. 1179/2012 | Rottami vetrosi | Pubblicato |
| Regolamento (UE) n. 715/2013 | Rottami di rame | Pubblicato |

Tab. 1 – Emanazione di criteri specifici da parte dell'Unione Europea

In assenza di criteri dettagliati (europei o nazionali), ogni Stato Membro ha la facoltà di "adottare misure appropriate", a differenti livelli amministrativi che possono essere costituite da linee guida non vincolanti oppure da criteri specifici inseriti in atti legislativi, o ancora definire specifici criteri di cessazione di qualifica di rifiuto "caso per caso".

Una recente pubblicazione della Commissione Europea (*Study to assess member states (MS) practices on by-product (BP) and end-of waste (EoW) Final report, 2020*"); Pubblicato: 2020-05-26 - Direzione generale dell'Ambiente (Commissione europea) [2]) descrive come i diversi Stati Membri hanno declinato nel proprio ordinamento la normativa europea relativa alla cessazione della qualifica di rifiuto e le ripercussioni che le diverse modalità di applicazione possono determinare.

Gli Stati Membri hanno adottato differenti approcci per l'applicazione della normativa EoW, in alcuni casi prevedendo che il procedimento sia avviato solo d'ufficio, e si concluda con l'adozione di un atto di portata generale, ossia un regolamento o altro atto normativo. Tale atto stabilisce criteri dettagliati da verificare in sede di rilascio o rinnovo dell'autorizzazione alla realizzazione ed esercizio degli impianti di trattamento dei rifiuti. Questa tipologia di

approccio, adottata da Stati quali Spagna, Portogallo, Austria, Estonia, Finlandia¹, si è dimostrata molto rigida nella sua applicazione, poiché non consente l’iniziativa da parte di privati risultando spesso penalizzante per lo sviluppo dell’economia del recupero, limitandone la possibilità di espressione ai soli prodotti per i quali sono state emanate le direttive dallo Stato Membro.

Altri stati Membri, come Francia e Belgio (limitatamente alla Regione Vallona) che condividono questo approccio, prevedono in aggiunta che, laddove non siano presenti atti normativi che fissano criteri specifici per un particolare EoW, possa essere attivata la procedura di definizione dei criteri specifici anche dal basso, con l’emanazione dei criteri relativi ad un determinato EoW in esito ad un procedimento avviato su istanza di parte. La competenza ad adottare i regolamenti resta comunque in capo all’autorità ministeriale e non è permesso alle autorità locali, comunque competenti ad autorizzare gli impianti di trattamento di rifiuti, di valutare caso per caso la sussistenza delle condizioni “end of waste” senza un apposito regolamento.

Alcuni Stati Membri (Germania, Paesi Bassi, Belgio - Regione di Bruxelles e attualmente l’Italia) riconoscono la competenza del governo centrale per la definizione dei criteri dettagliati di portata generale, con avvio della procedura d’ufficio, ma permettono, in assenza di regolamenti o atti normativi generali, alle amministrazioni competenti al rilascio delle autorizzazioni per la realizzazione e l’esercizio degli impianti di trattamento dei rifiuti, di valutare l’esistenza delle condizioni *End of Waste* in sede autorizzatoria e su istanza di parte, mediante provvedimenti di portata individuale, prevedendo in alcuni casi (come ad es. l’Italia) l’espressione del parere di competenza da parte di ISPRA/ARPA.

Le autorizzazioni rilasciate “caso per caso” sono spesso difficilmente accessibili e disponibili e questo comporta, oltre alla mancanza di trasparenza nelle strategie di definizione dei criteri EoW, anche difficoltà di sviluppo di nuove opportunità di mercato per le materie ottenute.

2.2 La normativa italiana e i decreti EoW emanati

In Italia, ad oggi, in ottemperanza a quanto previsto dall’art. 184 ter del D.Lgs. 152/06 sono stati emanati i seguenti Decreti: (Tabella 2)

| Decreto | Oggetto | Stato |
|----------------------------------|---|---------------|
| Decreto 14 febbraio 2013 n. 22 | Combustibile solido secondario (CSS) | Pubblicato |
| Decreto 28 marzo 2018 n. 69 | Conglomerato bituminoso (fresato d’asfalto) | Pubblicato |
| Decreto 15 maggio 2019 n. 62 | Prodotti assorbenti per la persona (PAP) | Pubblicato |
| Decreto 31 marzo 2020 n. 78 | Gomma riciclata da pneumatici fuori uso (PFU) | Pubblicato |
| Decreto 22 settembre 2020 n. 188 | Carta e cartone | Pubblicato |
| Decreto 15 luglio 2022, n. 278 | Rifiuti costruzione e demolizione | Pubblicato |
| Decreto EoW in iter | Rifiuti da spazzamento stradale | Notificato EC |

Tab. 2 – Emanazione di criteri specifici da parte dell’Italia

La legge 128/2019 (di conversione del DL 101/2019), ha consentito alle Autorità competenti il rilascio/rinnovo delle Autorizzazioni Uniche e delle AIA per impianti di trattamento e recupero di rifiuti nel rispetto delle condizioni “generali” EoW e sulla base di criteri “dettagliati”

¹ *Come funziona l’end of waste negli ordinamenti nazionali* - di David Röttgen, Eugenio Fidelbo – Ambientalex Studio Legale <https://circulareconomynetwork.it/2020/05/02/come-funziona-lend-of-waste-negli-ordinamenti-nazionali/>

definiti nell'ambito dei medesimi procedimenti autorizzatori, "previo parere obbligatorio e vincolante" dell'Ispra/Arpa.

Dal quadro sopra delineato ne consegue che, in Italia, la maggior parte degli iter autorizzativi di rinnovo e riesame delle autorizzazioni al trattamento e recupero dei rifiuti sono condotte dalle autorità competenti mediante la definizione di criteri "caso per caso" e l'espressione del parere di competenza di ISPRA/ARPA.

2.3 Le criticità nell'applicazione delle Linee Guida SNPA

L'art. 14 bis della Legge 2 novembre 2019 n. 128 aveva introdotto un sistema di controlli delle autorizzazioni rilasciate "caso per caso", attribuendone la competenza al Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA). A questo scopo sono state emanate le Linee Guida SNPA n. 41/2022: "Linee guida per l'applicazione della disciplina End of Waste di cui all'art. 184 ter comma 3 ter del D.Lgs. n. 152/06" [1]. La finalità delle linee guida è quella di garantire un approccio condiviso ed omogeneo delle Agenzie e di ISPRA sia in fase istruttoria, nella predisposizione del parere obbligatorio e vincolante (DL 77/2021), sia in fase di controllo.

Nell'ambito delle attività di consulenza che Montana S.p.A. svolge su impianti di recupero di rifiuti speciali pericolosi emergono alcune criticità nell'applicazione delle linee guida SNPA ai procedimenti di rinnovo/riesame delle autorizzazioni di seguito descritte:

- Le LG non forniscono standard di riferimento, ma elencano le tematiche che devono essere approfondite, lasciando ampio margine di discrezionalità alle autorità competenti, nelle valutazioni condotte per ogni EoW.

- Per la valutazione della conformità di una sostanza o un prodotto derivante dai processi di recupero ai fini della cessazione della qualifica di rifiuto, le LG rimandano a norme o specifiche tecniche di settore che possano costituire un riferimento (per analogia di composizione o di caratteristiche di prodotto) per la definizione dei parametri che devono essere verificati. In assenza di normativa tecnica di settore non è identificata una procedura univoca per la verifica di conformità. Questo aspetto si traduce in una difficoltà tecnica di definizione di parametri caratteristici che poi le autorizzazioni richiederanno di monitorare per ogni EoW prodotto.

- In assenza di normativa tecnica o standard e legislazione di prodotto applicabile, la definizione delle caratteristiche prestazionali e degli standard tecnici che lo stesso deve rispettare per essere considerato "non rifiuto" può essere condotta sulla base degli accordi commerciali intrapresi per la reimmissione sul mercato. Questo aspetto può provocare una disomogenea applicazione dei criteri di cessazione della qualifica di rifiuto ma costituisce, per le attività di recupero esistenti, un criterio di qualità prevalente nell'ambito di una consolidata attività di recupero che spesso non viene accettato dall'autorità competente.

- Spesso l'assenza di standard ambientali specifici correlabili alla sostanza/prodotto rende difficile l'effettuazione di una esaustiva valutazione dei potenziali impatti sull'ambiente dell'EoW rispetto alla materia prima sostituita. Ciò comporta incertezza sulle informazioni da inserire nei fascicoli EoW e difficoltà di valutazione complessiva dell'aspetto da parte dell'Ente.

- In impianti di recupero con processi complessi e caratterizzati da condizioni variabili può risultare complicato associare con precisione i codici EER in ingresso al processo di recupero con l'EoW in uscita (nel caso, per esempio, di rifiuti liquidi). Rimane oltretutto il timore che tali indicazioni riportate nel fascicolo EoW diventino vincolanti per la gestione dei processi di recupero e che pertanto possano essere accettati in ingresso al particolare processo solo i codici elencati, anche se in autorizzazione sono stati concessi altri codici con medesime operazioni di recupero che potrebbero essere utilizzati in relazione ad apertura di nuovi mercati e/o assegnazione da parte dei produttori di codici EER differenti.

- La modifica del 2022 alle LG SNPA introduce il concetto di lotto dinamico per la verifica delle condizioni inserite nella Dichiarazione di conformità per quei processi per cui non è

possibile definire lotti “chiusi”. La casistica del lotto dinamico, tuttavia è ammissibile solo nel caso di processi di recupero omogenei, che trattano tipologie di rifiuto in ingresso generate regolarmente e che generano EoW costanti nel tempo. Sul lato pratico non è sempre possibile identificare un lotto fisico a volte nemmeno per quei processi che non garantiscono continuità di prodotto come richiesto dalle LG.

- La normativa europea prevede che chiunque utilizzi per la prima volta un materiale EoW non immesso sul mercato o che lo immette per la prima volta dopo che ha cessato di essere rifiuto, deve provvedere affinché questo soddisfi i pertinenti requisiti in materia di sostanze chimiche e prodotti. Questa disposizione nello specifico si può tradurre, in alcuni casi, nella necessità di sottoporre le sostanze ottenute con il processo di EoW (simili ma non uguali alle materie prime sostituite) alla registrazione REACH. Questo aspetto spesso pone un insormontabile problema alle aziende che recuperano rifiuti in quanto esse non sono in grado di sostenere gli elevati costi di registrazione di una sostanza, non giustificabili dall'esigua fetta di mercato che la stessa ricopre considerando anche che la lunghezza delle tempistiche di registrazione potrebbe avere ripercussioni sugli accordi di mercato già in essere. La problematica che si pone in caso di necessità di registrazione di una sostanza secondo il Regolamento REACH può essere superata solamente prevedendo la rinuncia alla produzione dell'EoW, sottraendolo pertanto dal mercato del recupero.
- La standardizzazione e l'applicazione di procedure rigide per le varie fasi del procedimento di recupero su impianti esistenti comportano una limitazione nella operatività e flessibilità degli impianti che possono incidere sui costi di gestione (anche su processi di recupero già consolidati) e disincentivare il recupero di sostanze di natura secondaria, di quantità ridotta e con bassa valorizzazione di mercato.
- La certificazione dell'EoW è basata su un singolo prodotto recuperato, non è possibile, attraverso l'applicazione delle linee guida SNPA, certificare esclusivamente il processo (es processo di purificazione di solventi, processo di recupero di nutrienti etc..) con la regolamentazione di alcune norme sul prodotto finito e sui controlli di produzione. Questo comporta che gli impianti di recupero di rifiuti debbano attendere il parere di ISPRA/ARPA prima di poter recuperare una sostanza non certificata anche in assenza di una modifica di processo o di codice EER ingresso. La conseguenza è un irrigidimento delle procedure che non è funzionale alle logiche di mercato industriale.

2.4 I casi applicativi – esiti delle istruttorie di ISPRA/ARPA

A conclusione delle istruttorie condotte nei primi mesi del 2022 sono in fase di rilascio le prime autorizzazioni ad impianti di trattamento rifiuti contenenti i pareri ARPA relativi ai fascicoli EoW presentati in ambito di Riesame dell'AIA. Si inizia pertanto a delineare il quadro complesso delle autorizzazioni “caso per caso” (che tuttavia non sono disponibili al pubblico, ma solo alle autorità competenti attraverso il registro istituito ad hoc - REcer, registro nazionale per le autorizzazioni) e diventa possibile verificare i contraccolpi che le stesse avranno sul mercato del recupero e indirettamente sull'Economia Circolare.

In questo contesto in via di definizione è già possibile rilevare che il rilascio di pareri positivi da parte di ARPA sui fascicoli EoW è spesso accompagnato da richieste di informazioni dettagliate o da prescrizioni specifiche. In alcuni casi sono pervenute richieste di integrazione correlate alla necessità di dimostrare l'effettivo utilizzo del prodotto ottenuto a seguito del trattamento, che di per sé costituisce criterio per l'EoW. L'applicazione di questo criterio al caso specifico, tuttavia, ha previsto la fornitura dei contratti in essere, a dimostrazione dell'esistenza di un rapporto commerciale già siglato tra produttore del non rifiuto (EoW) e utilizzatore finale, pur non essendo nello specifico richiesto nelle LG SNPA. Nel caso pratico, tuttavia soprattutto se trattasi di impianti in progetto, non risulta tecnicamente possibile di-

sporre di contratti in essere prima ancora che l'impianto o l'attività abbia certezza della reale possibilità di operare.

In altri casi sono state impartite prescrizioni relative ai controlli di processo, da effettuarsi anche mediante simulazioni preventive dell'andamento del processo di recupero per ogni sostanza. Tale richiesta non trova riscontro di fattibilità tecnica laddove si è in presenza di processi variabili, a volte molto complessi, esito di regolazioni di processo definite sulla base delle conoscenze e dell'esperienza del personale interno e attuate nel corso della conduzione del processo stesso.

Si rileva inoltre che il rilascio di pareri negativi e pertanto la negazione di qualifica EoW per uno specifico prodotto, già ottenuto mediante i processi di trattamento autorizzati e riconosciuti all'interno di AIA esistenti, può occorrere nel caso in cui non sia stato possibile per l'operatore definire con chiarezza una "somiglianza" del prodotto recuperato con una materia prima analoga e nel caso in cui si richieda una variabilità di composizione del prodotto finito ampia (es in caso di miscele). Inoltre, alcuni casi si è assistito ad un importante ridimensionamento dell'elenco dei codici EER autorizzati per la produzione di uno specifico EOW.

Per impianti nuovi il rilascio di pareri negativi è stato osservato nel caso non sia stato possibile fornire la documentazione comprovante l'esistenza di accordi commerciali (sia per il prodotto finito che per i rifiuti da assoggettare a recupero) che non possono essere stipulati per realtà non ancora autorizzate o infine a causa dell'assenza di riconosciuti standard tecnici per la sostanza o di eventuali standard commerciali definiti tra le parti.

3. Conclusioni

La forte discrezionalità intrinseca nelle procedure di autorizzazione "caso per caso", oggi applicato in Italia, soprattutto in quei casi in cui non esiste normativa tecnica di settore, può causare divari competitivi tra impianti di recupero analoghi ma situati in Regioni differenti. Nell'ambito dell'istruttoria autorizzativa persistono ancora numerose incertezze, dovute all'assenza di definizione, all'interno delle LG SNPA, di standard di riferimento e all'indicazione di tematiche da approfondire, che possono essere sviluppate in maniera molto diversa anche in impianti della stessa tipologia. Per alcune tipologie di attività di recupero occorre certificare il processo e non la singola sostanza al fine di rendere flessibile il recupero alle reali esigenze di mercato. Si auspica quindi una revisione del sistema al fine di consentire una circolarità flessibile ed efficace delle materie recuperate che possa supportare efficacemente lo sviluppo sostenibile dell'industria.

Bibliografia

[1] **Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente**, "*Linee guida per l'applicazione della disciplina End of Waste di cui all'art. 184 ter comma 3 ter del D.Lgs. n. 152/06. Revisione gennaio 2022*"; Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 23.02.2022. Doc. n. 156/22.

[2] **Direzione generale dell'Ambiente (Commissione europea), Umweltbundesamt GmbH (EAA); ARCADIS Belgium NV**, "*Study to assess member states (MS) practices on by-product (BP) and end-of-waste (EoW) Final report, 2020*"; Pubblicato: 2020-05-26

GESTIONE E VALORIZZAZIONE DELLA RISORSA IDRICA

ZERO POLLUTED AND CIRCULAR WATER - GESTIONE, TRATTAMENTO E VALORIZZAZIONE DEI FANGHI DI DEPURAZIONE

Alla luce del Green Deal e del Piano d'Azione "Zero Pollution" dell'Unione Europea, si avverte sempre più la necessità di un nuovo quadro normativo a sostegno di una gestione sostenibile e resiliente dei fanghi, che preveda un più ampio campo di applicazione per la valutazione dei rischi ed un rigoroso controllo della qualità dei fanghi. In Europa vengono prodotti circa 25 kg di fanghi secchi pro capite all'anno come sottoprodotto del processo di trattamento delle acque reflue e l'entità della produzione di fanghi è strettamente correlata all'efficacia del trattamento. Si affronterà quindi il tema dell'uso dei fanghi dal punto di vista della circolarità, mirando alla prevenzione dell'inquinamento e alla minimizzazione dei rischi, all'efficienza delle risorse e alle opportunità commerciali. In tale contesto, negli ultimi anni si stanno sviluppando diverse nuove tecnologie, che però in molti casi non sono ancora sufficientemente mature per poter essere sviluppate su vasta scala e necessitano di un'adeguata normativa. Il Convegno vuole fornire informazioni sullo stato dell'arte e sulle prospettive di gestione e valorizzazione di questo importante flusso di rifiuti, coinvolgendo le Istituzioni, gli enti di ricerca, gli operatori e gli esperti del settore. Saranno presentati esempi di successo.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo & Università di Brescia, IRSA-CNR, ISS, Utilitalia**

Presidenti di sessione:

Giorgio Bertanza, Università di Brescia

Camilla Braguglia, IRSA CNR

Tania Tellini, Utilitalia

Bioconversion of urban sewage sludge mediated by larvae of black soldier fly, *Hermetia illucens*

Silvia Arnone, silvia.arnone@enea.it, ENEA-Agenzia per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Roma

Massimiliano De Mei, massimiliano.demei@enea.it, Roma

Francesco Petrazzuolo, francesco.petrazzuolo@enea.it, Roma

Sergio Musmeci, sergio.musmeci@enea.it, Roma

Paolo Bonilauri, paolo.bonilauri@izsler.it, IZSLER-Istituto Zooprofilattico Sperimentale Lombardia ed Emilia-Romagna – Brescia

Annalisa Grisendi, annalisa.grisendi@izsler.it, Brescia

Michele Curatolo, michele.curatolo@izsler.it, Brescia

Francesco Defilippo, francesco.defilippo@izsler.it, Brescia

Lorenzo Tonelli, lorenzo.tonelli93@gmail.com, Roma

Andrea Salvicchi, andrea.salvicchi@gmail.com, Roma

Riassunto

È stata studiata la possibilità di applicare la tecnologia della bioconversione mediata dalle larve della mosca soldato per il recupero e la valorizzazione dei fanghi di depurazione provenienti dall'impianto di trattamento delle acque reflue urbane del comune di Ladispoli (provincia di Roma). I fanghi sono stati miscelati con una dieta artificiale per la mosca e sono state confrontate in laboratorio due miscele: 50% e 75% di fanghi. Le larve sono state in grado di utilizzare le miscele come substrato alimentare e la più alta concentrazione di co-substrato (50%) ha migliorato le rese del processo (maggiore peso larvale con maggior contenuto proteico e lipidico, alto consumo di substrato e basse concentrazioni di metalli nel residuo e nelle larve). Una pratica applicazione della tecnologia potrebbe essere quella di miscelare i fanghi con altri tipi di scarti organici (FOR-SU, resti della ristorazione, scarti ortofrutticoli) coinvolgendo realtà produttive locali con una visione di approccio territoriale.

Summary

This study investigated the possibility of applying the bioconversion technology mediated by black soldier fly larvae (BSFL) to support the management of municipal sewage sludge (MSS). The bioassays were carried out in laboratory using an artificial diet for the fly as co-substrate of the MSS produced by the treatment plant of the urban wastewater of Ladispoli (Rome province). Two mixtures were compared (50 % and 75 % of MSS). BSFL fed and grew on the mixtures and the use of the co-substrate influenced the process: higher was the % of co-substrate (50 %), higher was the performance of the bioconversion in term of highest larval weight, best protein and lipid content, major reduction of the substrate and lowest concentrations of metals in the residual substrates and in larval bodies at the end of the experiments. These results suggest that the blend of MSS with other organic substrates, such as organic urban waste and agri-food waste,

for a bioconversion with BSFL, is a helpful application to be developed with a territorial approach vision.

1. Introduction

The increase of the world population and urbanization are leading to an overexploitation of natural resources (fuels, minerals, water, land and biodiversity). Furthermore, the large amount of waste produced needs to be managed in a sustainable way and represents a resource to be recovered and enhanced. The municipal sewage sludge (MSS or biosolids) is the product of the treatment of urban wastewater that separates clean water from the solid component. The more efficient the wastewater purification system and the higher the quantity of the wastewater treated, the greater the amount of MSS produced that must be managed [1]. In Italy, 3.1 million tons of sewage sludge are produced per year, most of it ends up in landfills, a part is typically spread on land, only a minority is sent for recovery, obtaining energy (biogas) and nutrients [2]. The spreading of MSS as fertilizers on land is a valid solution since it allows the recovery of organic matter and nutrients as N, P and K but, the presence of heavy metals and pollutants raises environmental and health concerns [3]. Among others [4, 5] an alternative and innovative solution for managing biosolids is the bioconversion mediated by the larvae of black soldier fly (BSFL) *Hermetia illucens* (Diptera, Stratiomyidae: Hermetiinae). BSFL are able to feed on a wide range of organic wastes and by-products, generating added value products. In fact mature larvae are rich in proteins, lipids and chitin that are suitable for feed and for industrial or energy applications; furthermore the initial volume of the waste undergoes to a reduction and the residue, consisting of undigested feed, feces and exuviae, can be used as soil conditioner [6-8]. Aim of this work is to compare two mixtures (50 % and 75%) of MSS with a co-substrate (the artificial diet for BSFL) as feeding substrate for larvae of *H. illucens*. Larvae of different age, 6 and 9 days old, were used for the bioassay. Survival, growth, protein and lipid content of larvae, the reduction of the substrates and the metal content in the substrates and in larvae were detected in laboratory confined experiments.

2. Material and methods

2.1 The insect rearing and the experimental plan

A colony of black soldier fly has been set up in laboratory according to methods reported in literature [9, 10]. Larvae were fed on moistened Gainesville diet (GD) (50% wheat bran, 30% alfalfa meal, 20% corn meal; 170 ml of tap water per 100 g) [11] and maintained in climatic chamber ($T = 26^{\circ}\text{C} \pm 1$, $\text{RH} = 75 \pm 10\%$) in darkness conditions. A preliminary test was carried out with larvae 4 and 10 days old on sewage sludge as it is (100%) as feeding substrate and 95%, 90% and 85 % of sewage sludge mixed with GD. Results suggested that the % of sewage sludge in the BSFL diet should be decreased in order to allow a faster growth of larvae and a higher reduction of the substrate and that larvae 4 days old were too young for the initiation of the experiment (unpublished data). On the basis of these observations, two experimental plans were set up comparing:

- two mixture of MSS with the GD (50% and 75% of MSS) and 2 larval ages (6 and 9-day old larvae fed on GD from the egg hatching) in order to detect: larval survival, larval growth and reduction of the substrate (**Tab. 1**, first experiment);
- two mixture of MSS with the GD (50% and 75% of MSS) with 9-day old larvae in order to detect the nutritional value of mature larvae, the variation of metal content in the substrate and the tendency to accumulate metals in larval body (**Tab. 2**, second experiment).

| Experimental set up | Data collection |
|--|--|
| Substrates: 50% and 75% of sewage sludge mixed with Gainesville diet (fresh weight basis) | At the initiation of the experiment Larval weight |
| Initiation with larvae 6 and 9-day old | During the experiment (every two days) Larval weight |
| 500 larvae on 700 gr of substrate in batch (3 reps) | At the end of the experiment Larval and residue weight |

Tab. 1 – First experiment

| Experimental set up | Data collection |
|--|---|
| Substrates: 50% and 75% of sewage sludge mixed with Gainesville diet (fresh weight basis) | At the initiation of the experiment Substrate metal content. |
| Initiation with larvae 9 days old | At the end of the experiment Larval protein, lipid and metal content. Residue: weight; metal content |
| 500 larvae on 700 gr of substrate in batch (3 reps) | |

Tab. 2 – Second experiment

The experimental unit was 500 BSFL on 700 g of the tested substrate in a plastic box maintained under the same conditions of the insect rearing. Three replications for each treatment were carried out. The Gainesville diet (0% of MSS) was always used as control.

3. Results

3.1 First experiment

Concerning the larval survival, no differences have been found between the two larval ages (6 and 9 days) and among control (Gainesville diet, 0% of MSS) and the two mixtures of MSS (**Tab. 3**)

| larval age days | feeding substrate % of MSS | survival rate % |
|--------------------|-------------------------------|--------------------|
| 6 | 0 | 99,7 |
| | 50 | 99,17 |
| | 75 | 98,47 |
| 9 | 0 | 98,23 |
| | 50 | 97,1 |
| | 75 | 98,83 |

Tab. 3 – Larval survival

The presence of the MSS in the feeding diet was detrimental for larval development. In fact, higher was the co-substrate percentage in the substrate (50%), higher were both the final larval biomass and the growth rate. With regard to the age of larvae used for the initiation of the process, best results were obtained with larvae 9 days old. Matching the obtained values, the final larval biomass and the growth rate for the older larvae on MSS at 50 % were higher than the values reached on the control with larvae 6 days old and a little bit lower than those with 9-day old larvae on the control (**Tab. 4**).

| larval age days | feeding substrate % of MSS | larval biomass 3 rd relief g ± s.d | larval biomass 4 th relief g ± s.d. | final larval biomass g ± s.d. | Growth Rate mg/day ± s.d.. |
|-----------------------------|----------------------------|---|---|--|----------------------------|
| 6 | 0 | 90,18±10,09 | 89,65±5,92 | 64,15±4,11 | 9,53±0,82 |
| | 50 | 86,44±7,68 | 82,15±11,29 | 58,11±4,58 | 8,45±1,33 |
| | 75 | 70,22±17,40 | 65,53±3,81 | 51,75±3,31 | 7,48±1,37 |
| 9 | 0 | 93,48±7,01 | 94,31±7,19 | 74,09±5,21 | 12,31±0,76 |
| | 50 | 89,21±9,01 | 88,11±5,89 | 68,06±9,12 | 11,09±1,96 |
| | 75 | 79,01±8,74 | 84,08±6,37 | 66,60±7,57 | 8,25±1,56 |
| <i>Statistical analysis</i> | | F _{age} =33,38; p<0,05 F _{MSS%} =8,36; p< 0,05 | F _{age} =16,77; p<0,05 F _{MSS%} =17,69; p<0,05 | F _{age} =8,35; p<0,05 F _{MSS%} =33,37; p<0,05 | F = 9,53 p = 0,022 |

Tab. 4 – Larval growth and Growth rate: results of Anova and Welch test, respectively.

With regard to the Waste reduction index, higher the co-substrate percentage (50%), higher the WRI. The WRI of larvae 9 days old on MSS at 50 % was higher than the values reached on the control with larvae 6 days old and a little bit lower than, and not significantly different from, values on control with 9-day old larvae (**Fig. 1**).

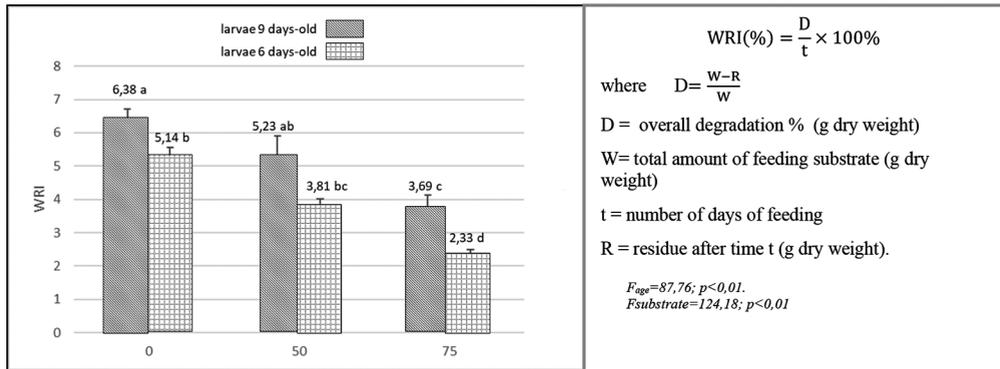


Fig. 1 – Waste Reduction Index [12]: different letters indicate statistically significant differences according to Tukey test at p = 0.05.

3.2 Second experiment

With regard of larval nutrient content, as expected, higher the % of the co-substrate, higher the protein and lipid content. It is important to underline that values obtained in this work are in the range of values reported in literature on different organic waste [8, 13].

| | control | MSS 50% | MSS 75% | <i>F Anova</i> |
|-----------------|-------------|---------------|--------------|----------------|
| | mean±se | mean±se | mean±se | |
| Proteins | 39.3±0.66 a | 36.1±0.75 b | 35.4±0.23 b | 12,585*** |
| PrCR | 38.0±2.40 | 38.4±0.33 | 33.0±5.47 | 0.038 n.s |
| Lipids | 28.4±1.08 a | 23.62±1.13 ab | 20.84±1.72 b | 8,059 ** |
| DM % | 30.2±0.26 a | 29.8±1.00 a | 26.7±0.43 b | 8,749** |

Tab. 5 – Larval protein and lipid content (g/100g d.m.) at the end of the experiment and Protein Conversion Rate (PrCR = larval protein content/substrate protein content × 100 [13]) (different letters indicate statistically significant differences according to Tukey test at $p = 0.05$).

For both mixture at 50% and 75%, the concentration of metals in the initial substrate was lower of that found in the residue (positive values of MR of Tab. 6) and higher the concentration higher the effect of reduction. The results of this work confirm the tendency of BSFL to accumulate metals Cadmium and Manganese.

| Metal | control | MSS 50% | Mss 75% | control | MSS 50% | Mss 75% |
|-------|---------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|
| | MR | MR | MR | BAF | BAF | BAF |
| As | -74.8 | 25.79 | 35.78 | 0.64 | 0.05 | 0.08 |
| Cd | 7.75 | 32.54 | 31.45 | 6.9 | 1.37 | 2.50 |
| Co | -82.95 | 27.12 | 35.42 | 0.13 | 0.02 | 0.04 |
| Cr | -78.30 | 26.09 | 34.82 | 0.71 | 0.03 | 0.04 |
| Cu | -97.87 | 25.72 | 35.56 | 1.74 | 0.09 | 0.10 |
| Fe | -35.28 | 30.48 | 37.79 | 0.40 | 0.04 | 0.05 |
| K | -119.84 | 24.79 | 36.34 | 5.86 | 0.59 | 0.75 |
| Mn | -22.62 | 21.28 | 31.36 | 6.34 | 1.81 | 1.66 |
| Mo | -72.58 | 29.25 | 35.34 | 0.51 | 0.09 | 0.10 |
| Ni | -142.06 | 27.87 | 40.70 | 0.81 | 0.04 | 0.04 |
| Pb | -131.17 | 21.66 | 29.95 | 3.21 | 0.36 | 0.37 |
| Zn | -83.72 | 25.12 | 35.33 | 2.26 | 0.22 | 0.19 |

Tab. 6 – Metal reduction (MR, %) and Bioaccumulation factor (BAF= concentration in larvae/concentration in substrate [14]).

4. Conclusions

The results of this work assert the possibility to use larvae of black soldier fly for the bioconversion and valorization of the municipal sewage sludge. For the initiation of the process, larvae 9 days old have a better performance than that of younger larvae. In fact, we obtained a higher consumption of the substrate and a more consistent reduction of metals in the residue as well as a lower accumulation of metal in the larval bodies, with a higher accumulation of proteins and lipids, than those obtained with 6-day old larvae. These accomplishments are magnified by the use of a co-substrate at 50% (on fresh weight basis; the artificial diet in this work). This suggests that it would be favorable to mix the MSS with bio-waste. In addition to biosolids, municipal waste include a wide range of organic waste: household waste, waste of the agri-food market and of the catering, scraps of the school and company canteens. There

a lot of experimental work showing how *H. illucens* is an efficient converter of a wide variety of organic waste. Dealing with the problem of the management of the organic waste with a view of a territorial approach, the bioconversion with black soldier fly gives the opportunity to incorporate the management of this wide range of waste in a combined process giving rise to a new integrated economy chain. Indeed, the bioconversion not only allows a faster composting process of the municipal organic waste, but in an ecofriendly way, produce proteins and lipids for feed or for bioplastic productions, or chitin for pharmaceutical or for chemical industries. This strategy opens up perspectives of a sustainable economic development and job opportunities in different production sectors.

Bibliography

- [1] **Bianchini A., Bonfiglioli L., Pellegrini M., Saccani C.**, Sewage sludge drying process integration with a waste-to-energy power plant. *Waste Manag.* 42:159–165, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.020>
- [2] **ISPRA** “Rapporto Rifiuti speciali 2020” n. 231
- [3] **Elmi R.A., Alkhalidy A., Alolayan M.**, Sewage sludge land application: balancing act between agronomic benefits and environmental concerns. *J. Clean. Prod.* 150:119512, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119512>
- [4] **Mateo-Sagasta J., Liqa R.S., Thebo A.**, Global wastewater and sludge production, treatment and use. In Drechsel P. Qadir M. Wichelns D (eds.) *Wastewater: economic asset in an urbanizing world*. Springer, Dordrecht, pp.15–38, 2015. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9545-6_2.
- [5] **Samolada M.C., Zabaniotou A.A.**, Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece. *Waste Manag* 34:411–420, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.11.003>
- [6] **Sheppard D.C., Newton G.L., Thompson S.A., Savage S.**, A value added manure management system using the black soldier fly. *Biores. Tech.* 50:275–279, 1994. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90102-3)
- [7] **Dortmans B., Diener S., Verstappen B.M., Zurbrügg C.**, Black soldier fly biowaste processing: a step-by-step guide. Swiss Federal Institute of Aquatic Scienc and Technology, 2017 (Eawag), Dübendorf, Switzerland.
- [8] **Singh A., Kumari K.**, An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review. *J. Environ. Manag.*, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109569>
- [9] **Harnden L.M., Tomberlin J.K.**, Effects of temperature and diet on black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) development. *Forensic Sci. Int.* 266:109–116, 2016.
- [10] **Sheppard D.C., Tomberlin J.K., Joyce J.A., Kiser B.C., Sumner S.M.**, Rearing methods for the black soldier fy (Diptera: Stratiomyidae). *J. Med. Entomol.* 39:695–698, 2002. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-39.4.695>
- [11] **Hogsette J.A.**, New diets for production of house flies and stable flies (Diptera: Muscidae) in the laboratory. *J. Econ. Entomol.* 85: 2291–2294, 1992. <https://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1005>
- [12] **Diener S., Zurbrügg C., Tockner K.**, Conversion of organic material by black soldier fy larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Manag. & Res.* 27:603–610, 2009. <https://doi.org/10.1177/0734242X09103838>
- [13] **Lalander C.H., Diener S., Zurbrügg C., Vinnerås B.**, Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *J. Clean. Prod.* 208:211–219, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>
- [14] **Walker C.H.**, Kinetic-models to predict bioaccumulation of pollutants. *Functional Ecology* 4: 295-301, 1990.

Potenziale dei trattamenti idrotermici propedeutici all'incenerimento dei fanghi di depurazione

Federico Viganò^{1,2}, federico.vigano@polimi.it A. Conversano^{1,2}, M. Gabba², M. Zatti², M. Sbaffi³, F. Cella³

antonio.conversano@polimi.it

marco.gabba@polimi.it

matteo.zatti@polimi.it

mattia.sbaffi@agrosistemi.it

fabio.cella@agrosistemi.it

¹ Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano, Milano, 20156, Italia

² LEAP Scarl, Piacenza, 29121, Italia

³ Agrosistemi Srl, Piacenza, 29122, Italia

Riassunto

La normativa sulla gestione dei fanghi di depurazione sta progressivamente evolvendo verso standard di protezione ambientale sempre più elevati, promuovendo, di fatto, il ricorso all'incenerimento di crescenti quantità di fanghi. Le tecniche attualmente disponibili di mono- e co-incenerimento spesso richiedono la preventiva riduzione del tenore di umidità mediante disidratazioni meccaniche e spesso processi di essiccamento termico. Questi ultimi comportano significativi consumi energetici, poiché basati sull'evaporazione dell'umidità. Alcuni processi di trattamento idrotermico di sviluppo relativamente recente hanno dimostrato la possibilità di abbattere significativamente il fabbisogno energetico per la rimozione di umidità dai fanghi evitandone l'evaporazione. Si tratta di processi denominati HTC = Hydro-Thermal Carbonisation e/o HTD = Hydro-Thermal Dewatering. L'esito di questi processi è un significativo cambiamento delle proprietà reologiche dei fanghi che ne consente un' apprezzabile disidratazione meccanica, tale da rendere superflui eventuali essiccamenti termici propedeutici all'incenerimento.

Un processo HTD è stato recentemente studiato dagli autori mediante varie prove su un impianto pilota. I risultati della sperimentazione hanno consentito di valutare le prestazioni attese a scala industriale, sulla base delle quali, il presente lavoro confronta due scenari di incenerimento dei fanghi: (a) lo scenario di riferimento in cui i fanghi sono disidratati meccanicamente, essiccati termicamente e inceneriti; (b) lo scenario HTD in cui i fanghi, dopo la disidratazione meccanica sono sottoposti a trattamento idrotermico, a ulteriore disidratazione meccanica e, infine, a incenerimento.

I risultati ottenuti mostrano che i consumi di gas naturale (e le conseguenti emissioni di CO₂) per lo scenario basato su HTD si attestano a circa il 19% dello scenario di riferimento. Una preliminare analisi economica, basata sulla stima dei costi industriali di trattamento, evidenzia la convenienza dello scenario HTD che consegue tempi di ritorno dell'investimento dell'ordine di 1-2 anni.

Summary

The legislation on the management of sewage sludge is progressively evolving towards increasingly higher environmental protection standards, effectively promoting the use of incineration of increasing quantities of sludge. Mono- and co-incineration available techniques require the prior reduction of the moisture content by mechanical dehydration and often thermal drying processes. The latter involve significant energy consumption, as they are based on the evaporation of moisture. Some relatively recently developed hydrothermal treatments have shown the possibility of significantly reducing the energy requirements for the removal of moisture from sludge, avoiding its evaporation. These are processes called HTC = Hydro-Thermal Carbonisation and / or HTD = Hydro-Thermal Dewatering. The outcome of these processes is a significant change in the rheological properties of the sludge, which allows for an appreciable mechanical dehydration, such as to make no more needed any preparatory thermal drying.

An HTD process has recently been studied by the authors through various tests on a pilot plant. The results of the experimentation gave the required insights to evaluate the expected performances on an industrial scale. On such a basis, this work compares two scenarios of sludge incineration: (a) the reference scenario in which the sludge is mechanically dehydrated, thermally dried and incinerated; (b) the HTD scenario in which the sludge, after mechanical dehydration, is subjected to hydrothermal treatment, to further mechanical dehydration and, finally, to incineration.

The results show that the natural gas consumption (and the consequent CO₂ emissions) for the HTD-based scenario is around 19% of the reference scenario. A preliminary economic analysis, based on the estimate of industrial treatment costs, highlights the convenience of the HTD scenario which results payback times of the order of 1-2 years.

1. Introduzione

L'aumento della popolazione mondiale è associato a un incremento nella produzione di fanghi derivanti da processi di trattamento di acque reflue; si stima infatti che nella sola Unione Europea siano prodotte non meno di 50 Mt/anno di tale rifiuto, caratterizzato da un contenuto d'acqua pari a circa l'80% [1], oltre che dalla presenza di sostanze tossiche quali metalli pesanti, inquinanti inorganici (e.g., S, Cl) contaminanti organici e patogeni; richiedono pertanto un opportuno processo di trattamento che consenta la rimozione di sostanze nocive ottenendo scarti di facile gestione con un limitato costo di trattamento e consumi energetici ridotti.

La normativa sulla gestione dei fanghi di depurazione sta progressivamente evolvendo verso standard di protezione ambientale sempre più elevati, promuovendo, di fatto, il ricorso all'incenerimento di crescenti quantità di fanghi. Le tecniche attualmente disponibili di mono- e co-incenerimento spesso richiedono la preventiva riduzione del tenore di umidità mediante disidratazioni meccaniche e spesso processi di essiccamento termico. Questi ultimi comportano significativi consumi energetici, poiché basati sull'evaporazione dell'umidità. Alcuni processi di trattamento idrotermico di sviluppo relativamente recente hanno dimostrato la possibilità di abbattere significativamente il fabbisogno energetico per la rimozione di umidità dai fanghi evitandone l'evaporazione. Si tratta di processi denominati HTC = Hydro-Thermal Carbonisation e/o HTD = Hydro-Thermal Dewatering. L'esito di questi processi è un significativo cambiamento delle proprietà reologiche dei fanghi che ne consente un'apprezzabile disidratazione meccanica, tale da rendere superflui eventuali essiccamenti termici propedeutici all'incenerimento.

Un processo HTD è stato recentemente studiato dagli autori mediante varie prove su un impianto pilota sviluppato da Agrosistemi Piacenza [2]. I risultati della sperimentazione hanno consentito di valutare le prestazioni attese a scala industriale [3], [4], sulla base delle quali, il presente lavoro confronta due scenari di incenerimento dei fanghi: (a) lo scenario di riferi-

mento in cui i fanghi sono disidratati meccanicamente, essiccati termicamente e inceneriti; (b) lo scenario HTD in cui i fanghi, dopo la disidratazione meccanica sono sottoposti a trattamento idrotermico, a ulteriore disidratazione meccanica e, infine, a incenerimento.

2. Metodologia

A partire dalle prestazioni di un impianto pilota ubicato presso la sede piacentina di Agrosistemi, è stato sviluppato un design concettuale del processo HTD, a una scala in grado di trattare 10'000 t/anno di fango al 23% di sostanza secca. Mediante opportuni indicatori prestazionali, sia di natura tecnica che economica, la nuova soluzione tecnologica è stata confrontata con un processo commerciale di essiccamento fanghi a film sottile.

Il tenore di sostanza secca raggiunto dal processo di essiccamento termico a film sottile è generalmente superiore a quello raggiunto a seguito del processo HTD (75-90 %ss vs. 55 %ss), sicché i prodotti dei due processi sono, tendenzialmente, destinati a mercati differenti. Tuttavia, al fine di consentire un confronto omogeneo tra le due tecnologie, si è considerato un assetto operativo per l'essiccatore a film sottile che ottiene lo stesso tenore di sostanza secca conseguente al processo HTD.

La Fig. 1 riporta una rappresentazione grafica della metodologia adottata per confrontare i due processi. La comparazione considera due diverse situazioni di riferimento, ossia prezzi dell'energia (elettricità e gas naturale) rispettivamente alti e bassi. Complessivamente sei casi studio, confrontati mediante indicatori quali produttività [$t_{\text{Prodotto}}/t_{\text{Fango}}$], produzione specifica [$t_{\text{Prodotto}}/t_{\text{Fango}}$], consumo specifico di gas naturale [$\text{Sm}^3/t_{\text{Prodotto}}$], consumo elettrico specifico [$\text{kWh}/t_{\text{Prodotto}}$], TIR (Tasso Interno di Rendimento), VAN (Valore Attuale Netto) e TPB (Tempo di Pay-Back).

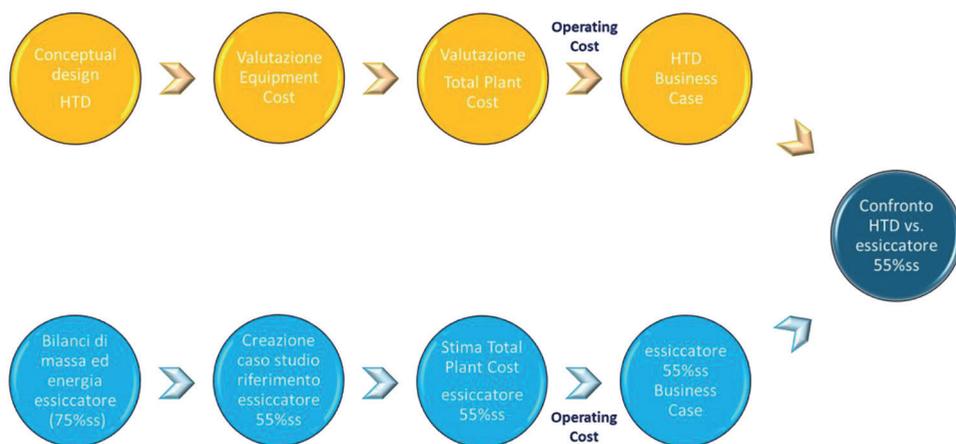


Fig. 1 – Metodologia di confronto tra processo HTD e processo di essiccamento (stato dell'arte).

2.1 Assunzioni

Si riportano in **Tab. 1** le principali assunzioni tecniche ed economiche adottate per i diversi casi studio.

| | |
|--|---|
| Capacità di trattamento | 10'000 t/anno |
| Fango in ingresso HTD / essiccatore | 23% sostanza secca (s.s.) |
| Fango in uscita HTD / essiccatore | 55% s.s. |
| Ore equivalenti di funzionamento | 7'000 h/anno |
| Tempo di realizzazione | 1 anno |
| Vita utile impianto | 15 anni |
| Imposte | 28% |
| WACC | 8.06% |
| Inflazione | 4% |
| Tariffa di conferimento fango 23%ss | 150 €/t |
| Costo consumabili | alto: prezzi correnti post pandemia e crisi energetica → GN [†] = 1.25 €/Sm ³ ; EE [†] = 0.25 €/kWh basso: prezzi pre-pandemia (2019 –ARERA, utenze industriali[5]) → GN = 0.38 €/Sm ³ (HTD) e 0.30 €/Sm ³ (EFS); EE = 0.11 €/kWh |
| Tariffa smaltimento prodotto da processo di trattamento fanghi | Alta: 150 €/t Media: 120 €/t Bassa: 100 €/t |

† EE = Energia Elettrica; GN = Gas Naturale

Tab. 1 – Assunzioni tecniche ed economiche sia per il design dei processi che per la definizione dei rispettivi business case

3. Process Design

3.1 Design del processo HTD

Il processo HTD consta delle seguenti fasi: 1. Preriscaldamento, 2. Riscaldamento, 3. Mantenimento e 4. Raffreddamento. Il fango tal quale (23 %ss) è inviato alla fase iniziale di preriscaldamento alla pressione di circa 35 bar, passando dalla temperatura iniziale di 20 °C sino a circa 150 °C. Lo scambiatore utilizzato è di tipo controcorrente e impiega, quale vettore termico, acqua a 25 bar. Nella successiva fase di riscaldamento, la corrente di fanghi è inviata a uno scambiatore equicorrente riscaldato da olio diatermico, che lo porta sino a circa 210 °C. Segue il mantenimento a tale temperatura per circa 35 minuti, per consentire l'esplicarsi delle opportune reazioni. Lo slurry in cui si è convertito il fango è, infine, raffreddamento fino alla temperatura ambiente, per poi alimentarlo alla filtropressa. Con pressioni sino a 10 bar si separa una corrente liquida (6 %ss residua) da una solida (55 %ss). Le correnti gassose prodotte dal processo sono convogliate presso un'opportuna unità di trattamento gas per la rimozione dei composti dello zolfo nonché dei composti organici (COV) prima dello scarico in atmosfera. Uno schema concettuale del processo HTD è riportato in Fig. 2.

Una volta definito lo schema di processo, si sono preliminarmente dimensionate le varie apparecchiature con conseguente stima dei consumi energetici (gas naturale ed elettricità) e relativa valutazione economica. La stima dei costi d'investimento si basa sia su dati reperiti in letteratura [6], sia su quotazioni avanzate da vari fornitori.

3.2 Caratterizzazione del processo convenzionale (essiccatore a film sottile)

Al fine di disporre di un termine di confronto, è stata considerata una tecnologia di essiccamento convenzionale basata su essiccatore a film sottile. Il processo è schematicamente

rappresentato in Fig. 3. Gli indicatori specifici di produttività ed energetici caratteristici del processo commerciale sono stati valutati per mezzo della chiusura di bilanci di massa e di energia sul processo mediante un approccio di tipo black-box, assumendo che il prodotto esca dall'essiccatore a 125 °C.

4. Risultati e Considerazioni

La Tab. 2 riporta i principali indicatori specifici di produzione e di consumo energetico. I risultati evidenziano una diversa produttività dei due processi legata alla presenza di sostanza solida residua non recuperata e dispersa nella corrente liquida in uscita dalla filtropressa del processo HTD. Il confronto evidenzia inoltre come i consumi energetici specifici sia di energia elettrica, sia di gas naturale per unità di prodotto siano più alti nel caso di tecnologia convenzionale rispetto al processo HTD. In particolare, l'indicatore di consumo specifico di gas naturale del processo di essiccamento termico è oltre cinque volte superiore a quello del processo HTD. Tale differenza è principalmente ascrivibile al calore latente per l'evaporazione dell'umidità nel processo convenzionale.

| | HTD | Essiccamento | Unità |
|-----------------------------------|--------|--------------|--|
| Capacità | 10'000 | 10'000 | $t_{\text{Fango}}/\text{a} @23\%w\text{ ss}$ |
| Temperatura processo | 210 | 125 | °C |
| Produttività | 3'298 | 4'182 | $t_{\text{Prodotto}}/\text{anno}$ |
| Produzione specifica | 0.33 | 0.42 | $t_{\text{Prodotto}}/t_{\text{Fango}}$ |
| Consumo gas naturale | 79'977 | 533'482 | Sm^3/anno |
| Consumo elettrico | 111 | 381 | MWh/a |
| Consumo specifico di gas naturale | 24 | 128 | $\text{Sm}^3/t_{\text{Prodotto}}$ |
| Consumo elettrico specifico | 34 | 91 | $\text{kWh}/t_{\text{Prodotto}}$ |

Tab. 2 – Indicatori specifici caratteristici del processo HTD e di essiccamento.

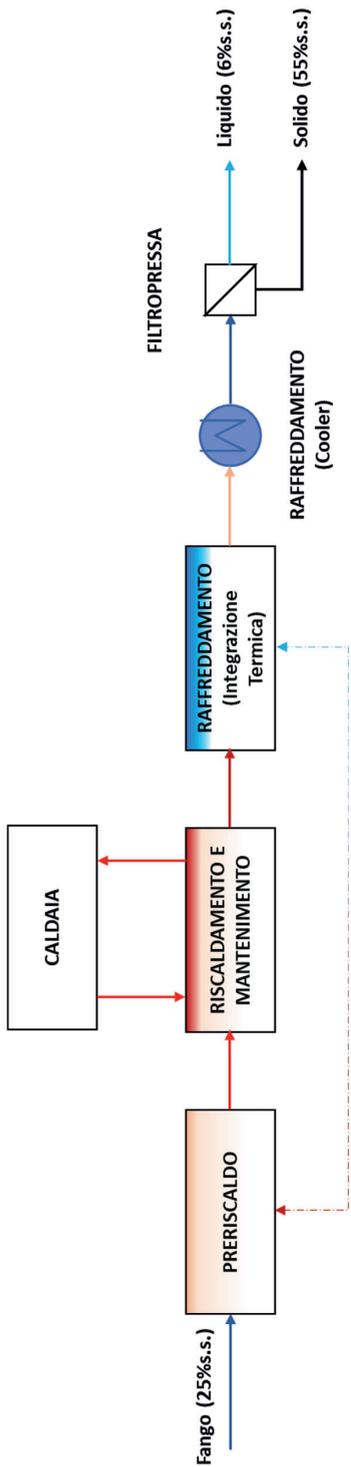


Fig. 2 – Diagramma a blocchi del processo HTD (correnti principali in figura).

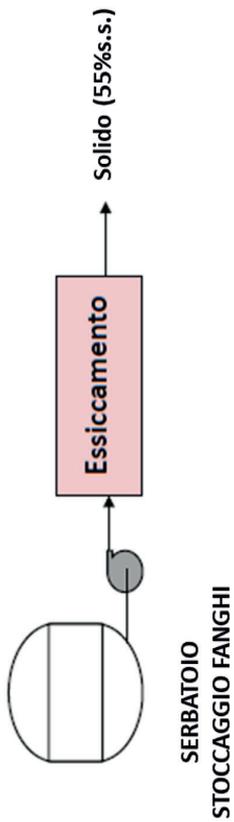


Fig. 3 – Rappresentazione schematica del processo di essiccamento fanghi (correnti principali in figura).

La seguente Tab. 3 riporta gli indicatori economici più significativi che caratterizzano i diversi casi studio analizzati. Si può notare come tutti gli indicatori risultino più favorevoli per la tecnologia HTD rispetto al caso di essiccatore a film sottile. La tecnologia HTD risente, infatti, molto meno dei prezzi di energia elettrica (EE) e gas naturale (GN), poiché poco energivora. Ciò consente un periodo di rientro dell'investimento inferiore ai 2 anni in tutti gli scenari analizzati.

| Tariffa di conferimento | | EE e GN – prezzo alto | | | | | EE e GN – prezzo basso | | | | |
|-------------------------|-------|-----------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|------------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
| | | TIR | VAN 5 [M€] | VAN 10 [M€] | VAN 15 [M€] | TPB [anni] | TIR | VAN 5 [M€] | VAN 10 [M€] | VAN 15 [M€] | TPB [anni] |
| HTD | ALTA | 82% | 2.2 | 5.1 | 8.0 | 1.2 | 91% | 2.5 | 5.7 | 8.9 | 1.1 |
| | MEDIA | 91% | 2.5 | 5.7 | 8.8 | 1.1 | 99% | 2.8 | 6.3 | 9.8 | 1.0 |
| | BASSA | 99% | 2.8 | 6.2 | 9.7 | 1.0 | 108% | 3.1 | 6.9 | 10.6 | 0.9 |
| ESSICCATORE | ALTA | -13% | -1.8 | -1.6 | -1.4 | #N/D | 21% | 0.2 | 2.4 | 4.6 | 4.5 |
| | MEDIA | -2% | -1.4 | -0.9 | -0.3 | #N/D | 25% | 0.6 | 3.2 | 5.7 | 3.9 |
| | BASSA | 5% | -1.0 | -0.1 | 0.8 | 10.6 | 29% | 0.9 | 3.9 | 6.8 | 3.4 |

Tab. 3 – Indicatori economici del processo HTD vs. tecnologia convenzionale nelle due situazioni di prezzo di energia elettrica e gas naturale

5. Conclusioni

Il processo HTD per la disidratazione dei fanghi sviluppato sulla base dell'esperienza di Agrosistemi è stato valutato preliminarmente su piena scala in base a un design concettuale, confrontandolo con la tecnologia commerciale dell'essiccamento a film sottile. Si è considerata una taglia del processo di 10'000 t/anno di fango al 23 %ss, che porta a produrre 3'298 t/anno di materiale solido al 55 %ss. Le condizioni operative dell'essiccatore a film sottile sono state scelte in modo da ottenere un prodotto al 55 %ss come per l'HTD. È stata effettuata una comparazione sulla base di indicatori tecnico-economici quali produzione specifica, consumo energetico specifico e redditività dell'investimento, assumendo tariffe di conferimento del prodotto al 55 %ss pari a 100 – 125 – 150 €/t e in due scenari di prezzi di energia elettrica e gas naturale (prezzi bassi pre-crisi energetica e prezzi in linea con il 2022). Le opzioni analizzate includono il mancato conferimento a terzi dei fanghi per un costo omnicomprensivo di 150 €/t.

I risultati mostrano come, sia da un punto di vista energetico che da un punto di vista economico, il processo HTD risulti particolarmente promettente: il processo HTD presenta consumo di gas naturale e di elettricità rispettivamente pari al 19% e 37% di quelli caratteristici di un essiccatore a film sottile. Con bassi prezzi di EE e GN e alta tariffa di allontanamento del prodotto il TPB di HTD ed essiccatore è rispettivamente di 1.1 e 4.5 anni. Inoltre, con alti prezzi di EE e GN, il TPB per il processo HTD rimane inferiore ai 2 anni in tutto il range di tariffa di allontanamento considerato, mentre per l'essiccatore il TPB non supera i 15 anni (TPB=11) solo nel caso di tariffa pari a 100€/t.

Bibliografia

[1] X. Zhang, X. Li, R. Li, and Y. Wu, "Hydrothermal Carbonization and Liquefaction of Sludge for Harmless and Resource Purposes: A Review," *Energy & Fuels*, vol. 34, no. 11, pp. 13268–13290, Nov. 2020.

[2] "Agrosistemi." [Online]. Available: <https://www.agrosistemi.it/>.

[3] "LEAP." [Online]. Available: <https://www.leap.polimi.it/>.

- [4] “**Politecnico di Milano.**” [Online]. Available: <https://www.polimi.it/>.
- [5] “**ARERA.**” [Online]. Available: <https://www.arera.it/it/index.htm>.
- [6] **G. D. Ulrich**, *Chemical Engineering Process Design and Economics: A Practical Guide*. 2004.

ZERO POLLUTED AND CIRCULAR WATER - INQUINANTI EMERGENTI (PFAS E SOSTANZE CHIMICHE PERSISTENTI E/O MOBILI – PM, MICROPLASTICHE, SOSTANZE ANTIBIOTICO-RESISTENTI): DIFFUSIONE, DESTINO, SALUTE E GESTIONE DEL RISCHIO AMBIENTALE

Le sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) e altre cosiddette sostanze mobili, persistenti (PM), nonché ulteriori contaminanti emergenti, vengono riconosciuti come gravi minacce per la sicurezza sanitaria ed ambientale delle risorse idriche. La strada verso un ambiente a inquinamento zero e privo di sostanze tossiche richiede conoscenze e competenze sui metodi analitici e la chimica ambientale, l'individuazione delle fonti rilevanti di inquinamento, la diffusione ed il destino degli inquinanti, le misure preventive, le tecnologie di trattamento oltreché una normativa adeguata. Il workshop presenterà lo scenario attuale e le soluzioni all'avanguardia nel contesto delle tecnologie innovative, efficienti ed efficaci e delle procedure normative.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo, Istituto Superiore di Sanità, Legambiente, Università Politecnica delle Marche, UTILITALIA**

Presidenti di sessione:

Luca Lucentini, CTS Ecomondo e Istituto Superiore di Sanità

Andrea Minutolo, CTS Ecomondo e Legambiente

Francesco Fatone, CTS Ecomondo e Università Politecnica delle Marche

Trattamento termico di PFAS in matrici liquide

Mantovani Marco marco.mantovani@k-inntech.it, Zanetti Nicola, Della Zassa Micol

K-INN Tech SrL, Spin Off Università di Padova

Beltrame Davide, Zerlottin Mirco

Acque del Chiampo SpA, Arzignano (VI)

Canu Paolo K-INN Tech SrL, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Padova

Riassunto

Questo studio mira a determinare le condizioni operative ottimali per la degradazione puramente termica (senza fiamma) di PFAS presenti in matrici liquide, come ad esempio percolato di discarica. Il setup utilizzato è composto da un reattore a doppio stadio, nel quale vi è una prima fase di vaporizzazione della soluzione e una successiva fase di trattamento dei vapori ad alta temperatura, durante la quale avviene la degradazione delle sostanze fluorurate. Per quantificare l'efficacia del trattamento, viene valutata la quantità di HF prodotto, condensandolo in una trappola basica. Lo studio dimostra che il trattamento puramente termico è efficace, ottenendo ottimi valori di degradazione dei PFAS (circa 100%) e di conversione di questi in HF (>80%), con una temperatura operativa di 950°C e con un tempo di residenza dell'ordine dei minuti (~10).

Summary

This study aims to determine the optimal operating conditions for purely thermal (flameless) degradation of PFAS present in liquid matrices, such as landfill leachate. The used setup consists of a two-stage reactor, in which there is an initial vaporization phase of the solution and a subsequent high-temperature vapor treatment phase, during which degradation of the fluorinated substances takes place. To quantify the effectiveness of the treatment, the amount of produced HF is evaluated by condensing it in a basic trap. The study shows that purely thermal treatment is effective, achieving excellent values of PFAS degradation (about 100%) and conversion of PFAS to HF (>80%), with an operating temperature of 950°C and a residence time on the order of minutes (~10).

1. Introduzione

I PFAS (Poly- and Per-FluoroAlkyl Substances) sono una classe di composti chimici sintetici che appartiene alla categoria degli Emerging Contaminants (ECs).

Sono stati investigati potenziali processi e relative condizioni operative, che possano portare alla stabilizzazione dei PFAS contenuti in matrici liquide.

Le tecnologie di trattamento si classificano in: *trattamenti biologici*, nei quali viene sfruttata l'azione di funghi e batteri [1], ma che richiedono tempi di trattamento molto lunghi e non sono efficaci nella totale degradazione dei PFAS, perciò non sono praticabili a livello industriale; *metodi meccanici*, come il ball milling [2], sui quali attualmente non sono noti esperimenti che non siano su scala di laboratorio; *metodi chimico-fisici*, tra cui tecniche come l'ossidazione elettrochimica [3], la sonolisi [4], la fotolisi [5], l'ozonazione [6] e il trattamento al plasma [7]. Tra le tecnologie che sfruttano l'azione chimico-fisica, i metodi di ossidazione

elettrochimica [3] sono quelli con un miglior rapporto costo/efficienza di trattamento; tuttavia, gli studi in cui viene utilizzata questa tecnologia sono condotti su campioni molto diluiti, con una quantità di acqua >95% e non è mai stata investigata la quantità minima di acqua per la quale il trattamento rimane efficace [8]; infine i *trattamenti termici*, tra cui l'incenerimento, la liquefazione idrotermale e lo smouldering: con queste tecnologie, i prodotti chimici vengono distrutti sfruttando l'energia termica. La tecnologia di degradazione termica dei PFAS più conosciuta e utilizzata su scala industriale è l'incenerimento, che consiste in un processo ad alta intensità energetica, finalizzato alla completa mineralizzazione della molecola, con mezzi termici [9]. In questo studio viene approfondita la degradazione delle molecole fluorurate mediante un processo puramente termico senza fiamma.

2. Sperimentazioni e risultati

Il setup impiegato in questo studio è composto da un trattamento termico a doppio stadio (Fig. 1): una prima fase di vaporizzazione della soluzione contaminata, durante la quale i PFAS vengono vaporizzati, è seguita da una fase successiva di trattamento dei vapori ad alte temperature, durante la quale avviene la degradazione delle sostanze fluorurate. Al fine di valutare l'efficacia del trattamento, a valle del setup è posta una trappola sodica 1.25M, per raccogliere l'acido fluoridrico prodotto e le sostanze fluorurate non reagite.

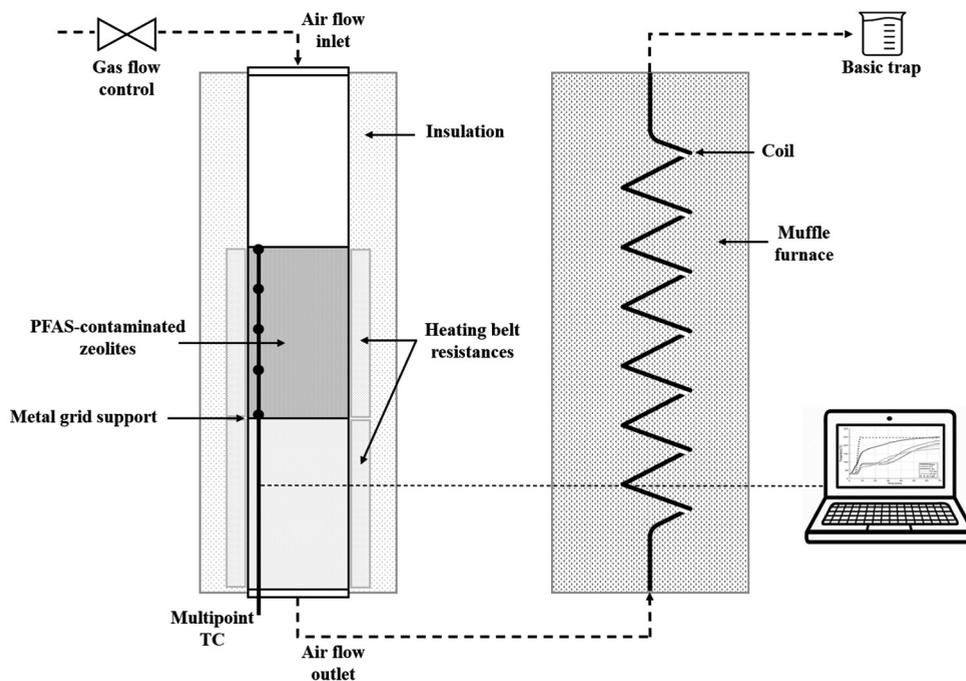


Fig. 1 – Reattore a doppio stadio

Il I stadio del setup è composto da un reattore tubolare di diametro interno di 4 cm, all'interno del quale un flusso di aria modulabile passa attraverso un letto di zeoliti, utilizzato come supporto poroso, alto circa 10 cm, che viene bagnato con le soluzioni contaminate. Il reattore viene riscaldato esternamente tramite delle resistenze a fascia. Le temperature all'interno del reattore vengono monitorate mediante una termocoppia multipoint posizionata all'interno

del letto di zeoliti. Il flusso d'aria in uscita dal reattore, che trascina i vapori di PFAS generati, passa attraverso una linea riscaldata fino all'ingresso al II stadio, costituito da una spirale in acciaio, posizionata all'interno di una muffola in grado di raggiungere i 1100°C.

Sono stati inizialmente condotti test preliminari su soluzioni sintetiche di PFBA (Tab. 1), mantenendo costante la temperatura al I stadio e sulla linea di collegamento (250°C, sufficienti ad evitare la ricondensazione del PFBA), e variando la temperatura al II stadio (700÷950°C) e la portata d'aria di carrier (5÷300 mL/min), in modo tale da variare i tempi di residenza nel II stadio (0.4÷27 min circa).

| Test # | $T_{II\text{ stadio}}$ [°C] | \dot{Q}_{Aria} [mL/min] | t_{res} [min] | v [cm/s] | HF [%] |
|--------|--------------------------------|------------------------------|--------------------|-------------|-----------|
| 1 | 700 | 300 | 0.5 | 32.9 | 33.5 |
| 2 | 700 | 150 | 0.9 | 16.5 | 40.2 |
| 3 | 700 | 50 | 2.7 | 5.5 | 42.2 |
| 4 | 700 | 5 | 27.3 | 0.5 | 37.7 |
| 5 | 800 | 300 | 0.4 | 36.3 | 35.0 |
| 6 | 800 | 150 | 0.8 | 18.1 | 53.5 |
| 7 | 800 | 50 | 2.5 | 6.0 | 55.2 |
| 8 | 800 | 5 | 24.8 | 0.6 | 73.1 |
| 9 | 900 | 300 | 0.4 | 39.7 | 41.9 |
| 10 | 900 | 150 | 0.8 | 19.8 | 51.4 |
| 11 | 900 | 50 | 2.3 | 6.6 | 67.8 |
| 12 | 900 | 5 | 22.7 | 0.7 | 80.1 |
| 13 | 950 | 300 | 0.4 | 41.4 | 41.9 |
| 14 | 950 | 150 | 0.7 | 20.7 | 53.1 |
| 15 | 950 | 50 | 2.2 | 6.9 | 66.2 |
| 16 | 950 | 5 | 21.8 | 0.7 | 74.6 |

Tab. 1 – Test su soluzione sintetica di PFBA ($T_{I\text{ stadio}}=250^\circ\text{C}$; Vol PFBA+H₂O=1+9mL)

Poiché è nota la quantità di contaminante fluorurato caricato, è possibile ricavare la conversione percentuale in HF, rispetto alla quantità massima ottenibile.

La Fig. 2 mostra le percentuali di HF ottenute, al variare del tempo di residenza nel II stadio, mediante curve parametriche nella temperatura qui impostata.

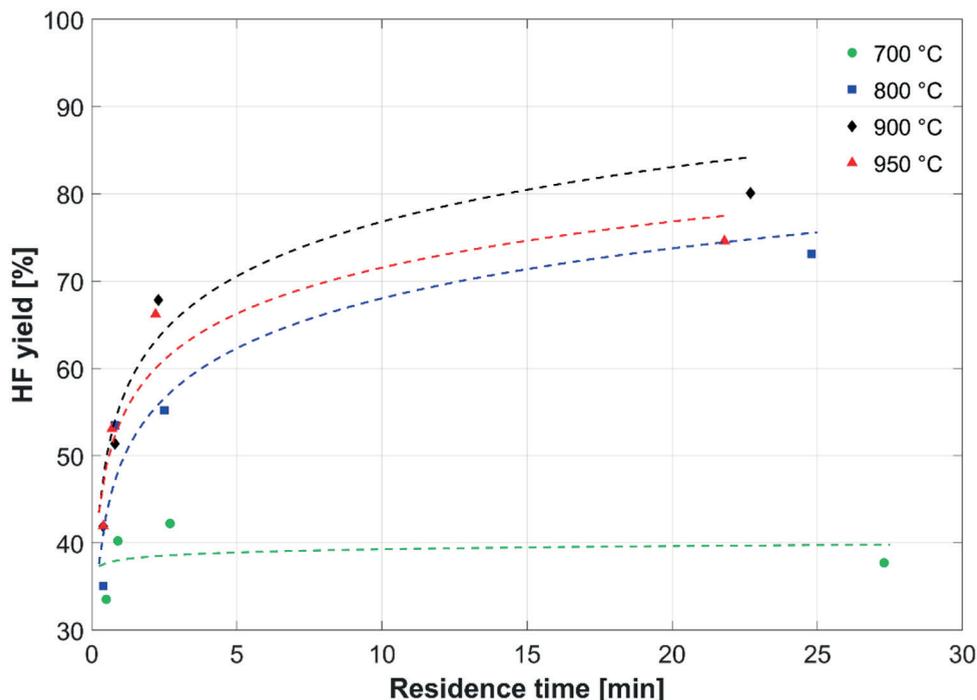


Fig. 2 – Test con soluzione sintetica di PFBA

I profili in Fig. 2 mostrano un trend crescente nelle rese di mineralizzazione di PFBA in HF da 700 a 900°C, poiché il processo di defluorizzazione è endotermico e perciò è favorito da un aumento di T. Mantenendo costante la temperatura al II stadio, la percentuale di HF prodotto aumenta all'aumentare del tempo di residenza del PFBA nel reattore, poiché la molecola ha più tempo per degradare, producendo una maggior quantità di HF. Questa tendenza crescente non viene però confermata a 950°C: a questa temperatura, infatti, vengono ottenute approssimativamente le stesse rese di mineralizzazione dei test a 900°C, dimostrando che per puro effetto termico, senza fiamma e dunque senza radicali, la massima conversione ottenibile di PFBA in HF è di circa l'80%. Poiché le conversioni in HF ottenute in questi test non raggiungono mai il 100%, ci si potrebbe attendere di trovare la restante quantità di PFBA non reagito condensato nella trappola basica: qui, invece, si trova un residuo trascurabile di PFBA (rilevabile dallo strumento analitico, ma dell'ordine dello 0.0001% rispetto al PFBA alimentato). Ciò dimostra che la maggior parte delle molecole di PFBA che non mineralizzano completamente ad HF, subisce una degradazione parziale, creando molecole a catena più corta (come ad esempio: CF_4 e C_2F_6 [10]), che non sono però rilevabili dalle analisi in trappola basica.

Successivamente, si sono condotti i test su un campione di percolato di scarica concentrato.

La quantificazione del fluoro alimentato con il percolato è fondamentale per poter chiudere il bilancio di massa e comprendere l'effettiva mineralizzazione dei PFAS in HF. In Tab. 2 sono messi a confronto i risultati ottenuti da analisi tradizionali (I colonna), in cui il fluoro inorganico (FI) è calcolato mediante cromatografia ionica ed il fluoro organico (FO) è calcolato come somma del fluoro contenuto nelle molecole dei 14 PFAS che la normativa

richiede di monitorare (PFBA, PFBS, PFDA, PFDoA, PFHpA, PFHpS, PFHxS, PFHxA, PFNA, PFOA, PFOS, PFPeA, PFPA, PFUnA), mediante analisi SPE/UHPLC-ESI-MS/MS. In questo caso, il fluoro totale (FT) è dato dalla somma di FI e di FO. Nella II colonna, invece, la misura del FT deriva dall'applicazione della tecnica CIC (Combustion Ion Chromatography) [11], in cui l'analisi è ancora basata su una cromatografia ionica, ma viene preceduta da un trattamento sul campione condotto in condizioni estreme, all'interno di una bomba calorimetrica (bomba di Mahler) (Method 5050 [12]): tutte le molecole contenenti fluoro (organiche e inorganiche) vengono mineralizzate ad alte temperature (attorno ai 1000°C), in atmosfera di ossigeno puro e a 31 Bar, creando ioni liberi di fluoro. Il FI è misurato, come nel caso precedente, con una cromatografia ionica su campione tal quale, mentre il FO è calcolato per differenza.

| | Tradizionale | CIC |
|-----------|--------------|-------|
| FT [mg/L] | 6.0 | 208.8 |
| FI [mg/L] | 4.0 | 4.8 |
| FO [mg/L] | 2.0 | 204 |

Tab. 2 – FT, FI e FO in percolato, ottenuti con metodo tradizionale e con CIC

La Tab. 2 rivela come le tecniche analitiche tradizionali comportino una significativa sottostima del FO e di conseguenza del fluoro totale, in quanto viene ricercato un numero estremamente limitato di composti e non si quantificano molti altri composti fluorurati sicuramente presenti, quali precursori di PFAS come fluorotelomeri e PFAS polimerici.

La Tab. 3 mostra la lista dei test condotti su percolato, evidenziando i principali parametri operativi variati durante la sperimentazione (T al I e II stadio e portata di carrier) ed i risultati ottenuti sia in termini di mineralizzazione totale in HF (penultima colonna) che di degradazione della sommatoria dei PFAS (ultima colonna).

L'analisi del fluoro con la tecnica CIC viene introdotta a partire dal test #5: per questo motivo, nei primi quattro test (#1÷4), in cui la quantità di F alimentato viene considerata come somma del fluoro presente nelle 14 molecole di PFAS analizzate, l'HF rilevato a fine test nella trappola basica risulta sempre > 100%, ossia si ottiene più HF rispetto alla quantità massima di HF ottenibile, confermando che, se valutato in questo modo, il F in ingresso viene significativamente sottostimato.

| Test # | T _{Istadio} [°C] | T _{IIstadio} [°C] | Q̇ _{Aria} [mL/min] | t _{res} [min] | v [cm/s] | HF [%] | ΣPFAS degradati [%] |
|--------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|----------|--------|---------------------|
| 1 | 350 | 700 | 50 | 2.7 | 5.5 | > 100 | 57.4 |
| 2 | 350 | 800 | 50 | 2.5 | 6.0 | > 100 | 56.5 |
| 3 | 350 | 900 | 50 | 2.3 | 6.6 | > 100 | 57.9 |
| 4 | 450 | 950 | 25 | 4.4 | 3.4 | > 100 | 77.3 |
| 5 | 500 | 950 | 50 | 2.2 | 6.9 | 48 | 99.9 |
| 6 | 500 | 950 | 10 | 10.9 | 1.4 | 84 | 99.5 |

Tab. 3 – Test su percolato (Vol = 10mL)

Nei primi tre test, la percentuale dei PFAS degradati risulta mediamente pari al 57% rispetto ai PFAS presenti inizialmente nel percolato concentrato e rilevati mediante analisi, evidenziando come i 350°C impostati al I stadio non siano sufficienti per una completa vaporizzazione dei PFAS dalla matrice solida (zeoliti), limitando così la degradazione ai soli PFAS che raggiungono il II stadio. Aumentando la temperatura del I stadio a 450°C (test #4), i PFAS degradati raggiungono il 77%, e successivamente, portando il I stadio a 500°C, si ottengono valori prossimi alla degradazione completa dei PFAS, come mostrano gli ultimi due test in Tab. 3. Questo viene confermato da analisi effettuate sul residuo solido (ceneri) nel I stadio a fine test: a 350 e 450°C vengono rilevati ancora PFAS, non presenti invece nelle frazioni solide ottenute nei test a 500°C, dimostrando come la temperatura nei primi test non fosse sufficiente a vaporizzare completamente i PFAS, dunque non permettendo ad una parte di loro di raggiungere il II stadio di degradazione.

Impostando a 950°C la temperatura al II stadio, si raggiungono conversioni in HF crescenti (>80%), all'aumentare del tempo di residenza nel reattore.

3. Conclusioni

Lo studio ha lo scopo di verificare la possibilità di mineralizzare, per via puramente termica, i PFAS presenti in una soluzione liquida contaminata. Il setup impiegato nel corso dei test sperimentali è costituito da un reattore a doppio stadio: un I stadio di vaporizzazione delle molecole fluorurate, seguito da uno stadio di degradazione termica ad alte temperature senza fiamma. Sono stati inizialmente condotti test sperimentali su un PFAS modello (PFBA sintetico) per identificare le condizioni operative ottimali e per massimizzare la conversione della molecola fluorurata in HF. Successivamente, è stata condotta una serie di test sistematici su percolato di scarica concentrato, confermando la possibilità di ottenere elevate rese percentuali in HF (oltre l'80%) ed elevate rese di degradazione dei PFAS (100% ca.), mediante un trattamento puramente termico (senza fiamma). Tuttavia, per ottenere questi risultati è necessario lavorare con tempi di residenza molto elevati (ordine dei minuti), impraticabili a livello impiantistico: per diminuire i tempi di reazione è necessario sviluppare un impianto di degradazione termica che permetta di accelerare la cinetica di degradazione e mineralizzazione dei PFAS, sfruttando l'azione radicalica della fiamma.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Fondazione AMGA (GE) e la Società Acque del Chiampo SpA (VI) per il sostegno finanziario all'attività sperimentale. Si ringrazia, inoltre, il laboratorio Innovazione Chimica SRL (TV), per l'analisi del fluoro totale.

Bibliografia

- [1] Colosi L.M., Pinto R.A., Huang Q., Weber W.J., *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2009, 28(2), pp. 264-271
- [2] Zhang K., Huang J., Yu G., Zhang Q., Deng S., Wang B., *Environmental Science & Technology*, 2013, 47 (12), pp. 6471-6477
- [3] Trautmann A., Schell H., Schmidt K., Mangold K., Tiehm A. (2015), *Water Science and Technology*, 71, pp. 1569-1575
- [4] Cheng J., Vecitis C.D., Park H., Mader B.T., Hoffmann M.R. (2010), *Environmental Science & Technology*, 44, pp. 445-450
- [5] Giri R.R., Ozaki H., Morigaki T., Taniguchi S., Takanami R. (2011), *Water Science & Technology*, 63(2), pp. 276-282
- [6] Lin A.Y.C., Panchangam S.C., Chang C.Y., Hong P.K.A., Hsueh H.F. (2012), *Journal of Hazardous Materials*, 243, pp. 272-277

- [7] **Yasuoka K., Sasaki K., Hayashi R.** (2011), *Plasma Sources Science and Technology*, 20(3), 034009
- [8] **Song Z., Tang H., Wang N., Zhu L.** (2013), *Journal of Hazardous Materials*, 262, pp. 332-338
- [9] **Aleksandrov K., Gehrman H.J., Hauser M., Mätzing H., Pigeon D., Stapf D., Wexler M.** (2019), *Chemosphere*, 226, pp. 898-906
- [10] **Horst J., McDonough J., Ross I., Houtz E.** (2020), *Groundwater Monitoring & Remediation*
- [11] **A. Koch, R. Aro, T. Wang, L. W. Y. Yeung** (2020), *Trends in Analytical Chemistry*
- [12] Method 5050: Bomb preparation method for solid waste, Rev. 0, September 1994

Rimozione del boro da acque di strato mediante lisciviato di ceneri pesanti e $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

*Carlo Limonti** carlo.limonti@unicat.it, Giulia Maria Curcio*, Francesco Marchio**, Alessio Siciliano*

* Università della Calabria, Rende (Cosenza)

** Econet srl, Lamezia Terme (CZ)

Riassunto

Il presente lavoro riporta i risultati di un'ampia indagine sperimentale finalizzata a valutare l'efficacia di un innovativo processo di rimozione del boro da acque contaminate mediante l'utilizzo di lisciviato di ceneri pesanti di rifiuti solidi urbani (LCP) e $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Le sperimentazioni sono state condotte in batch su campioni di acque di strato (AS) provenienti dai processi di estrazione del petrolio. Le migliori performance sono state ottenute impostando il pH inizialmente a 1 per poi successivamente raggiungere pH 11, mediante l'aggiunta di $\text{Ca}(\text{OH})_2$. I risultati hanno evidenziato un abbattimento del boro crescente con l'aumento del lisciviato di ceneri fino ad un dosaggio di $10\text{mL}_{\text{LCP}}/100\text{mL}_{\text{AS}}$ con rese del 73%. L'aggiunta di lisciviato in step successivi migliora le performance del processo. Sono stati ottenuti abbattimenti prossimi a 80% dosando in cinque aliquote successive un volume di lisciviato complessivo di $1\text{mL}_{\text{LCP}}/100\text{mL}_{\text{AS}}$.

Summary

Present work reports the results of an extensive experimental investigation for boron removal from wastewater. An innovative precipitation process that uses the leachate from the acid washing of combustion bottom ash (bottom ash leachate, BAL) as a reactant together with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ was developed. Several batch experiments were performed to identify the most suitable operating conditions by treating real "produced water (PW)" generated during oil extraction activities. The best removal performances were obtained by setting the pH initially to 1 and then subsequently reaching pH 11, by adding $\text{Ca}(\text{OH})_2$. The results showed an increasing reduction of boron with the increase of the bottom ash leachate up to a dosage of $10\text{mL}_{\text{BAL}}/100\text{mL}_{\text{PW}}$ with yields of 73%. A boron removal close to 80% was reached at $T=20^\circ\text{C}$ by dosing in sequential steps five aliquots of a bottom ash leachate dosage of $1\text{mL}_{\text{BAL}}/100\text{mL}_{\text{PW}}$.

1. Introduzione

Lo scarico non controllato di acque reflue contenenti elevate concentrazioni di boro può generare notevoli problemi sanitari e ambientali [1,2]. Infatti, sebbene il boro sia un costituente importante per lo sviluppo degli esseri viventi, se presente in elevate quantità, può risultare particolarmente tossico [3]. A livello industriale il boro è ampiamente utilizzato nella produzione di materiali refrattari e ceramiche, acciaio di alta qualità, polimeri resistenti al calore, catalizzatori, vetro, prodotti farmaceutici, inibitori di corrosione, coloranti, cosmetici, saponi, detersivi, fertilizzanti, disinfettanti, conservanti alimentari ecc. [3-5]. I composti del boro sono inoltre, utilizzati nelle attività di estrazione del petrolio e nelle industrie galvaniche

[6]. Pertanto, visto il suo ampio utilizzo in molteplici processi industriali, ogni anno vengono generati elevati quantitativi di acque reflue contaminate da boro [4]. In tal senso, la ricerca di processi efficaci e sostenibili per la rimozione del boro dalle acque reflue sta riscuotendo sempre maggiore interesse nella comunità scientifica internazionale. Tra le tecnologie attualmente disponibili per il trattamento delle acque contaminate da boro troviamo processi quali: scambio ionico, osmosi inversa, precipitazione chimica, adsorbimento ecc. [3,7,8]. Tuttavia, questi processi sono costosi e difficili da applicare al trattamento di acque altamente concentrate [9]. Nel presente lavoro viene proposto un nuovo processo che porta alla stabilizzazione/precipitazione del boro. Questo processo sfrutta il lisciviato prodotto dal lavaggio acido delle ceneri pesanti da incenerimento dei rifiuti solidi urbani (LCP) come reagente insieme a $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Il processo è stato sviluppato e applicato nel trattamento delle acque di strato (AS) generate dai processi di estrazione petrolifera. Infatti, durante le operazioni estrattive vengono normalmente utilizzati reattivi a base di boro [4,6]. Pertanto, il refluo acquoso generato, risulta essere caratterizzato da elevate concentrazioni di boro in soluzione. Le sperimentazioni condotte hanno permesso di identificare gli effetti dei parametri di processo sulle prestazioni di rimozione del boro dalle acque di strato e di individuare le condizioni operative più idonee alla sua precipitazione.

2. Materiali e metodi

2.1 Materiali

Le indagini sperimentali sono state condotte utilizzando acque di strato fornite dalla “Econet” srl (Lamezia Terme, CZ). La lisciviazione acida è stata condotta utilizzando ceneri pesanti provenienti dalla termovalorizzazione di rifiuti solidi urbani anch’esse fornite dalla “Econet” srl. Durante gli esperimenti sono stati utilizzati H_2SO_4 (75% p/v) e $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (20% p/v) di grado industriale.

2.2 Lisciviazione acida delle ceneri di termovalorizzazione da RSU

Per l’esecuzione dei test di precipitazione del boro si è utilizzato il lisciviato ottenuto dal lavaggio a pH 1 delle ceneri di termovalorizzazione. Il campione di ceneri pesanti è stato preventivamente disidratato mediante essiccazione a 40°C in stufa termostata per 24h. Le ceneri così ottenute sono state conservate in apposito essiccatore al fine di mantenere inalterato il contenuto di umidità e, successivamente, utilizzate per la lisciviazione.

Il test di lisciviazione è stato condotto in batch, in un becher di vetro della capacità di 500mL applicando un rapporto di massa solido/acqua pari a 10 (circa 10g di ceneri in 100mL di acqua deionizzata) in condizioni di temperatura ambiente e pressione atmosferica. Il pH della sospensione acqua-ceneri è stato impostato ad 1 aggiungendo un quantitativo pari a 7mL di acido solforico (H_2SO_4 98% w/w). La miscela composta da ceneri, acqua ed acido, è stata mantenuta in agitazione mediante apposito agitatore magnetico per 24h. Dopo tale periodo, la miscela è stata travasata in provette tipo Falcon da 50mL e centrifugata a 4000rpm per 15’. Terminata la centrifugazione, la frazione liquida è stata separata ed utilizzata come additivo per la precipitazione del boro.

2.3 Test di rimozione del Boro

Le sperimentazioni di precipitazione del boro sono state condotte secondo la metodica descritta nel brevetto *n.1012017000088317*, sviluppato dall’Università della Calabria e dall’Econet srl. I test di precipitazione sono stati condotti in batch, in becher di plastica della capacità di 200mL a pressione atmosferica, su un volume complessivo di acque di strato pari a 100mL. Inizialmente, le sperimentazioni hanno previsto l’esecuzione di due differenti set di prove al

variare del pH ed al variare del volume lisciviato di ceneri pesanti additivato. Nel primo set, le prove sono state condotte acidificando preventivamente le acque di strato a pH 1 con H₂SO₄ al 98% w/w. Successivamente si sono aggiunti in sequenza: il lisciviato di ceneri pesanti e l'idrossido di calcio in soluzione acquosa al 20%, fino al raggiungimento del pH finale desiderato. I volumi di lisciviato di ceneri immessi per 100mL di acque di strato sono stati: 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2, 3, 5, 7.5 e 10mL_{LCP}. I pH finali testati sono stati: 9, 10 e 11. Nel secondo set, i test di rimozione del boro sono stati condotti con la stessa modalità operativa descritta precedentemente ma in assenza dell'acidificazione preliminare del campione di acque di strato. Sono stati inoltre condotti 4 set di prove al variare della temperatura (20°C, 30°C, 40°C e 50°C) e del volume di lisciviato di ceneri pesanti additivato (2, 5 e 10mL_{LCP} per 100mL_{AS}) in condizioni di pH 11. Ulteriori sperimentazioni sono state condotte dosando in modo sequenziale il volume di lisciviato di ceneri pesanti. In particolare, in ciascun set è stata condotta una prima prova di precipitazione sottoponendo il campione di acque di strato ad un solo ciclo di trattamento. In tali prove l'intero volume di lisciviato è stato additivato con un'unica aggiunta. Negli altri test, invece, il campione di acque di strato è stato sottoposto ad un minimo di due fino ad un massimo di cinque cicli di trattamento sequenziali. Specificatamente, in ogni ciclo di trattamento è stato aggiunto un quantitativo di lisciviato di ceneri pari ad una percentuale del volume complessivo aggiunto nella prova singola di un solo ciclo. Secondo tale modalità, al termine del ciclo ennesimo, il volume complessivo di lisciviato aggiunto risulta essere lo stesso per tutte le prove condotte nel set. I valori percentuali dei volumi di lisciviato di ceneri pesanti additivati in ciascuna prova di precipitazione del boro sono riassunti in **Tab.1**.

| n° di cicli | % volumetrica di lisciviato aggiunta in ciascun ciclo | | | | |
|-------------|---|-----|-----|-----|-----|
| | I | II | III | IV | V |
| 1 | 100% | / | / | / | / |
| 2 | 20% | 80% | / | / | / |
| 3 | 20% | 20% | 60% | / | / |
| 4 | 20% | 20% | 20% | 40% | / |
| 5 | 20% | 20% | 20% | 20% | 20% |

Tab. 1 – Percentuale volumetrica di lisciviato di ceneri pesanti additivato in ciascun test sequenziale

2.4 Metodiche analitiche

Il pH, la temperatura e la conducibilità sono stati determinati utilizzando analizzatori da banco. La concentrazione di boro è stata determinata mediante metodica spettrofotometrica a 415nm [10]. Metalli, metalloidi e non metalli reattivi sono stati misurati mediante spettrofotometria di massa al plasma (ICP-MS) [10].

3. Risultati e discussione

3.1 Caratteristiche chimico fisiche delle acque di strato e del lisciviato di ceneri pesanti.

In **Tab.2** sono riportate le principali caratteristiche chimico fisiche delle acque di strato e del lisciviato di ceneri pesanti ottenuto a pH1. Le acque di strato utilizzate in questo studio risultano caratterizzate da una notevole concentrazione di boro di circa 35 mg/L oltre che da una significativa concentrazione di silicio. Per quanto riguarda il lisciviato di ceneri pesanti, si osservano quantità molto elevate di alluminio, silicio e ferro.

| Parametri | U.M. | Acque di strato | Lisciviato ceneri pesanti da RSU |
|---------------|-------|-----------------|----------------------------------|
| pH | - | 6.95±0.01 | 1.3±0.01 |
| Conducibilità | mS/cm | 15.25±0.10 | 86.6±0.12 |
| B | mg/L | 34.7±0.33 | 20.2±0.15 |
| Mg | mg/L | 153.1±7.8 | 3172.3±30.4 |
| Ca | mg/L | 199.0±9.3 | 258.7±17.5 |
| Al | mg/L | 0.39±0.03 | 4745.7±34.0 |
| Fe | mg/L | 0.1±0.01 | 653.5±21.3 |
| Si | mg/L | 27.0±0.7 | 4038.0±28.0 |
| Cd | mg/L | <0.001 | 2.35±0.11 |
| Cr | mg/L | <0.01 | 37.1±0.09 |
| Mn | mg/L | 0.07±0.002 | 56.9±0.16 |
| Ni | mg/L | 0.013±0.003 | 20.3±0.18 |
| Pb | mg/L | 0.023±0.001 | 8.67±0.22 |
| Cu | mg/L | <0.01 | 2.71±0.10 |
| Zn | mg/L | <0.1 | 252±8.6 |
| Se | mg/L | 0.041±0.003 | 0.053±0.001 |

Tab. 2 – Caratteristiche chimico-fisiche delle acque di strato e del lisciviato di ceneri pesanti

3.2 Influenza di pH e acidificazione preliminare sulle rese di rimozione del boro

In **Fig.1** sono riportati gli andamenti di riduzione del boro in funzione del pH e del volume di lisciviato di ceneri pesanti additivato. Analizzando i risultati ottenuti, si osserva una forte influenza del pH sulla rimozione del boro (**Fig.1-a**). In particolare, la rimozione ottenuta con l'immissione di 10mL_{LCP} per 100mL_{AS} a pH 9 è inferiore del 40% rispetto quella ottenuta a pH 10 e del 59% di quella a pH 11. Tale differenza risulta maggiormente marcata in corrispondenza dei bassi dosaggi di lisciviato di ceneri additivato. Infatti, per dosaggi compresi tra $0.1\text{mL}_{\text{LCP}}$ e 1mL_{LCP} la differenza tra le rimozioni ottenute a pH9 rispetto quelle a pH 10 e 11 è compresa tra il 66% e l'89%. Analizzando i risultati delle prove condotte a pH 10 e 11, si osserva che le concentrazioni presentano un comportamento analogo per bassi volumi di liquido lisciviato additivato. A pH 11 si osservano le migliori performance di rimozione del boro. In particolare, con dosaggi superiori a 5mL_{LCP} per 100mL_{AS} si registrano concentrazioni finali di boro inferiori a 15mg/L con rese di rimozione complessive che vanno dal 55% al 62%.

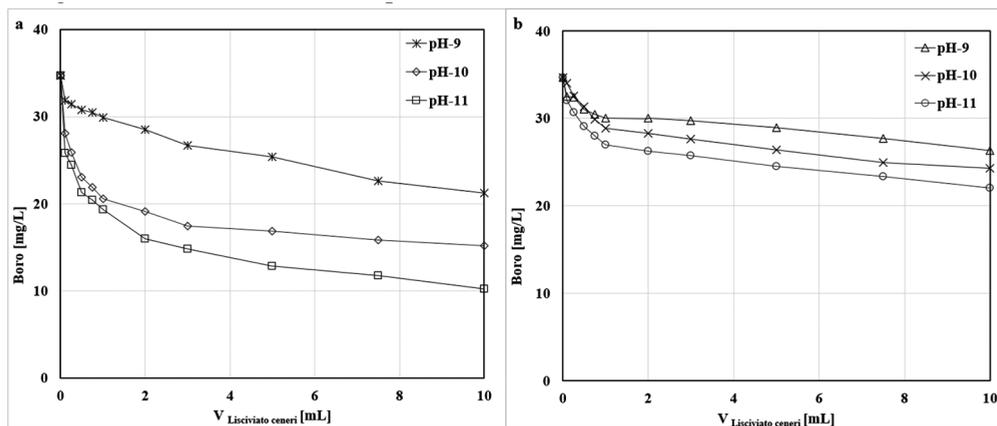


Fig. 1 – Andamenti di rimozione del boro dalle acque di strato ottenute con acidificazione (a) e senza acidificazione (b) del campione ai diversi dosaggi di lisciviato delle ceneri a pH 9-10-11

In **Fig.1-b** sono riportati gli andamenti di rimozione del boro dalle acque di strato delle prove condotte senza acidificazione preliminare del campione. Si osserva, anche per questa modalità di esecuzione del processo, una forte dipendenza delle rese di rimozione del boro dal pH finale. Infatti, la differenza di rimozione del boro tra le prove condotte a pH 10 e pH 11 si attesta nel range compreso tra il 6% ed il 9%. Più marcata risulta la differenza tra le prove condotte a pH 9 e pH11. In tali condizioni, infatti, si osservano concentrazioni di boro, inferiori dal 5% al 16% rispetto a quelle ottenute a pH 9. Confrontando i risultati delle prove condotte senza acidificazione preliminare del campione (**Fig.1-b**) con quelli ottenuti dalle prove con acidificazione preliminare (**Fig.1-a**), emergono differenze sostanziali tra le due modalità di esecuzione del processo. Infatti, acidificando preliminarmente il campione si riscontrano rese di rimozione maggiori in tutte le condizioni di pH finale testate.

3.3 Influenza della temperatura di processo sulle rese di rimozione del boro

In **Fig.2** sono riportati gli andamenti delle concentrazioni di boro in funzione del volume di lisciviato di ceneri pesanti additivato al variare della temperatura di processo. Globalmente si osserva che la temperatura di processo influisce significativamente sugli abbattimenti di boro nelle acque di strato. In particolare, alla temperatura di 20°C si osservano gli abbattimenti più bassi con valori compresi tra il 24% e il 37% additivando 2 e 10mL_{LCP} per 100mL_{AS} rispettivamente. Le migliori performance di precipitazione del boro si ottengono, invece, operando ad una temperatura di 30°C. Si osservano, infatti, abbattimenti del 43%, 50% e 57% in corrispondenza di 2mL, 5mL e 10mL_{LCP} per 100mL_{AS} rispettivamente. Operando, invece, a 40 e 50°C per volumi di lisciviato di 2 e 5mL_{LCP} per 100mL_{AS} si osservano rimozioni del boro comprese nel range tra il 31% e il 47%. Si riscontra, infine, alla temperatura di 40°C, con un volume di lisciviato di ceneri di 10 mL, una concentrazione finale di boro di circa 10 mg/L.

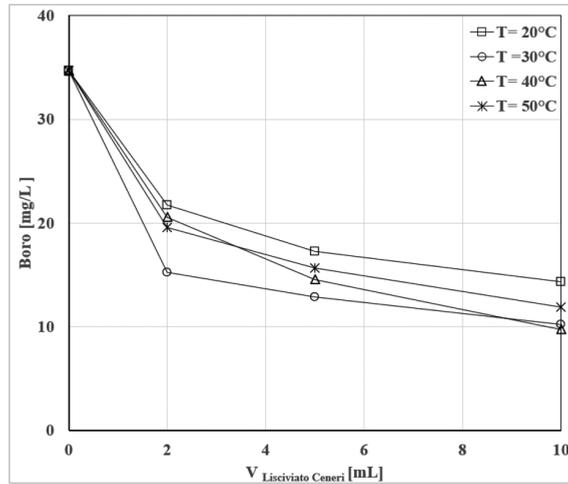


Fig. 2 – Andamenti di rimozione del boro dalle acque di strato ottenute alle temperature di 20, 30, 40 e 50°C, in condizioni di pH11 con preliminare acidificazione del campione

3.4 Risultati test di rimozione sequenziali

Nelle figure seguenti sono riportati i valori delle concentrazioni di boro determinate nei diversi set di prove sequenziali condotte (Fig.3 a-b). Globalmente, in tutti i set di prove, si osserva una significativa riduzione delle concentrazioni di boro all'aumentare dei cicli di trattamento. In particolare, nel set di prove condotte aggiungendo un volume complessivo di lisciviato di ceneri pari a $0.5 \text{ mL}_{LCP} / 100 \text{ mL}_{AS}$ (Fig.3-a) si osserva una riduzione delle concentrazioni di boro di oltre il 50% tra la prova condotta con un ciclo e quella con cinque cicli sequenziali.

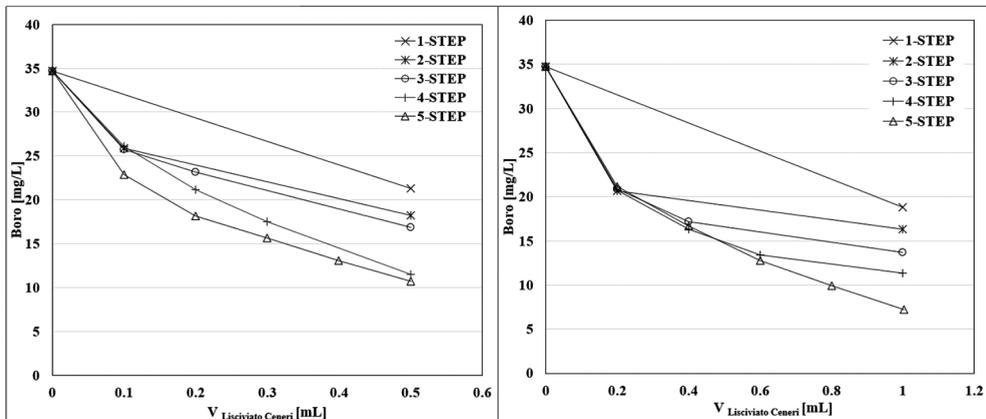


Fig. 3 – Concentrazioni di boro nei test di trattamento sequenziali condotti con un volume complessivo di lisciviato di ceneri pesanti pari a: (a) $0.5 \text{ mL}_{LCP} / 100 \text{ mL}_{AS}$, (b) $1 \text{ mL}_{LCP} / 100 \text{ mL}_{AS}$

Nello specifico, nella prova condotta con un solo ciclo si osservano rimozioni del boro del 32%. L'efficacia di rimozione sale al 69% nella prova condotta con cinque cicli di precipitazione sequenziali. Si osserva inoltre, che per le prove condotte con 2, 3 e 4 cicli di trattamento, il primo ciclo contribuisce alla riduzione della concentrazione del boro di circa il 20%; al

termine del trattamento, le efficienze di rimozione finali risultano pari al 43%, 47% e 63%, rispettivamente.

Per le prove condotte con $1\text{mL}_{\text{LCP}}/100\text{mL}_{\text{AS}}$ (**Fig.3-b**) l'abbattimento del boro con un solo ciclo di trattamento è del 39%. La percentuale di boro rimosso sale al 77% operando con cinque trattamenti sequenziali. Sottoponendo le acque di strato ad almeno tre cicli sequenziali si osservano concentrazioni di boro di circa 7mg/L , con un abbattimento prossimo al 80%.

4. Conclusioni

Le sperimentazioni condotte hanno consentito di valutare l'efficacia del processo di rimozione del boro dalle acque di strato utilizzando il lisciviato di ceneri pesanti.

Dai test è emerso che il trattamento ha una minore efficacia se il campione non viene sottoposto ad una preventiva acidificazione. Infatti, i test eseguiti senza l'utilizzo di acido solforico hanno mostrato rendimenti prossimi al 16%. Invece, nelle prove condotte abbassando il pH iniziale del campione ad 1 si sono riscontrati rendimenti di rimozione più elevati.

Complessivamente si è rilevato un aumento dei rendimenti di rimozione del boro all'aumentare del dosaggio di lisciviato di ceneri e del pH finale. In particolare, in condizioni di pH 11, con un dosaggio superiore a 3mL_{LCP} per 100mL_{AS} si sono riscontrate concentrazioni finali di boro inferiori a 15mg/L , con abbattimenti di oltre il 50%. I risultati sperimentali evidenziano che la rimozione del boro dalle acque di strato risulta essere significativamente influenzata dalla temperatura di processo. In particolare, alla temperatura di 20°C si sono osservati gli abbattimenti più bassi. Invece, le migliori performance di precipitazione sono state ottenute operando ad una temperatura di 30°C . Operando a temperature più elevate il processo subisce una perdita di efficienza ai bassi dosaggi di lisciviato. Valutando infine l'immissione sequenziale del lisciviato di ceneri pesanti, emerge che all'aumentare dei cicli di trattamento si verifica un miglioramento dei rendimenti di rimozione del boro. Nello specifico, sottoponendo il campione di acque di strato a cinque cicli di trattamento sequenziali, con un dosaggio complessivo di $1\text{mL}_{\text{LCP}}/100\text{mL}_{\text{AS}}$ si raggiungono rimozioni del boro superiori all'80%, con concentrazioni finali inferiori di circa 7mg/L .

Bibliografia

- [1] M.F. Chong, K.P. Lee, H.J. Chieng, I.I. Syazwani Binti Ramli, Removal of boron from ceramic industry wastewater by adsorption–flocculation mechanism using palm oil mill boiler (POMB) bottom ash and polymer, *Water Research*. 43 (2009) 3326–3334.
- [2] I. Kipçak, M. Özdemir, Removal of boron from aqueous solution using calcined magnesite tailing, *Chemical Engineering Journal*. 189–190 (2012) 68–74.
- [3] N. Hilal, G.J. Kim, C. Somerfield, Boron removal from saline water: A comprehensive review, *Desalination*. 273 (2011) 23–35.
- [4] E.H. Ezechi, M.H. Isa, S.R. bin Mohamed Kutty, Boron in produced water: Challenges and improvements: A comprehensive review, *Journal of Applied Sciences*. 12 (2012) 402–415.
- [5] R. Liu, W. Ma, C. ying Jia, L. Wang, H.Y. Li, Effect of pH on biosorption of boron onto cotton cellulose, *Desalination*. 207 (2007) 257–267.
- [6] A.J. Kondash, J.H. Redmon, E. Lambertini, L. Feinstein, E. Weinthal, L. Cabrales, A. Vengosh, The impact of using low-saline oilfield produced water for irrigation on water and soil quality in California, *Science of The Total Environment*. 733 (2020) 139392.
- [7] J.Y. Lin, N.N.N. Mahasti, Y.H. Huang, Recent advances in adsorption and coagulation for boron removal from wastewater: A comprehensive review, *Journal of Hazardous Materials*. 407 (2021) 124401.
- [8] N. Kabay, E. Güler, M. Bryjak, Boron in seawater and methods for its separation — A review, *Desalination*. 261 (2010) 212–217.
- [9] H.C. Tsai, S.L. Lo, Boron removal and recovery from concentrated wastewater using a microwave hydrothermal method, *Journal of Hazardous Materials*. 186 (2011) 1431–1437.
- [10] APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edn. American Public Health Association and Water Environment Federation. Washington DC, USA, 1998.

O3 nei depuratori delle acque reflue: una nuova visione verso migliori prestazioni e minori costi

Riccardo Calvi riccardo_calvi@siad.eu, Pier Luigi Radavelli Pier_Luigi_Radavelli@siad.eu
SIAD Società Italiana Acetilene e Derivati S.p.A., Bergamo

Riassunto

Il trattamento delle acque reflue si trova ad affrontare tematiche sempre più complesse e sfidanti in relazione ai principali temi ambientali ed economici: dalla tutela delle risorse acqua, suolo ed aria all'ottimizzazione dei costi di gestione ed ai recuperi di materia ed energia nell'intera filiera di trattamento. L'ozono viene da tempo applicato negli impianti di depurazione: a partire dal classico impiego come sanificante prima dello scarico in acque superficiali, il suo utilizzo si è poi esteso quale trattamento per l'affinamento terziario dei reflui – ad esempio per la rimozione del colore residuo in impianti consortili. Negli ultimi anni l'ozono è stato utilizzato con successo per la rimozione di microinquinanti emergenti (MIE) e per l'ottimizzazione della gestione del fango di supero prodotto negli impianti biologici. Tali applicazioni sono state valutate, a scala pilota e a scala reale, durante il progetto PerFORM WATER 2030 – finanziato da Regione Lombardia su fondi europei per una durata complessiva di circa 4 anni – i cui risultati sono brevemente riportati nel presente lavoro. Sono stati analizzati gli impieghi dell'ozono nel trattamento terziario per la rimozione dei MIE e della carica microbica, anche in previsione del riutilizzo dell'acqua trattata, nei processi di ozonolisi in linea acque per la minimizzazione della produzione del fango di supero e in linea fanghi per l'incremento della produzione di biogas, il miglioramento della sua qualità e la riduzione dei quantitativi di fango residuo da smaltire. L'esperienza condotta suggerisce una nuova visione dell'impianto di depurazione, mediante la gestione di un processo depurativo integrato che preveda il recupero e riciclo in diverse sezioni di trattamento dei flussi di O₂ e O₃ residui, generando una riduzione dei costi operativi complessivi (energetici e di smaltimento dei fanghi residui) e riducendo le emissioni di sostanze impattanti nelle matrici ambientali (acqua, aria, fango e relativo destino finale su suolo).

1. Introduzione

Le acque reflue urbane ed industriali vengono trattate negli impianti di depurazione per rimuovere le sostanze inquinanti in esse contenute attraverso una filiera di trattamenti (“Linea acque”) che comprendono trattamenti primari (di sgrossatura degli inquinanti), trattamenti secondari (principale sezione deputata alla rimozione degli inquinanti) e trattamenti terziari (di affinamento), che consentiranno di restituire la matrice depurata ai corpi idrici recettori. Le diverse sezioni di trattamento determinano la produzione di fanghi a costituire la Linea fanghi, a sua volta costituita da una filiera di trattamenti dedicati. Il destino finale dei fanghi prodotti (fanghi di supero), smaltimento o recupero, dipenderà principalmente dalle sue caratteristiche.

Recentemente si è assistito da una parte alla necessità di un'efficienza di trattamento sempre maggiore (parametri richiesti allo scarico più stringenti, individuazione e normazione di

nuovi Microinquinanti Emergenti – MIE), dall'altra alla necessità di ottimizzare la gestione economica dell'impianto di trattamento in relazione ai sempre maggiori costi energetici e di smaltimento dei fanghi di supero.

L'impiego di ozono può rappresentare un'opportunità per l'ottimizzazione degli aspetti tecnologici (maggiore efficienza di rimozione degli inquinanti) ed economici (ottimizzazione del trattamento del fango di supero) di gestione dell'impianto di depurazione.

La possibilità di generare in campo l'ozono, a partire da un flusso di O_2 puro eventualmente autoprodotta con impianti on-site, e di recuperare e ricircolare nelle varie fasi di trattamento i flussi contenenti O_2 e O_3 , rappresenta un'ulteriore passo verso una gestione integrata e sostenibile del processo depurativo, con attenzione alle matrici aria, acqua e suolo.

Il presente lavoro riporta in sintesi i risultati ottenuti durante lo studio PerFORM WATER 2030 [1] con l'applicazione dell'ozono a scala reale e pilota in diverse sezioni d'impianto.

2. Descrizione e discussione dei risultati

2.1 L'ozono negli impianti di depurazione delle acque reflue

L'ozono (O_3), forma allotropica dell'ossigeno, è noto da tempo per la sua capacità di ossidare la sostanza organica ed inorganica.

L' O_3 può essere utilizzato sia a monte (pretrattamento dell'acqua grezza) che a valle (trattamento terziario) di un processo biologico esistente.

Il trattamento terziario con ozono può essere considerato un metodo efficace per il controllo di molte categorie di composti emergenti, quali interferenti endocrini, erbicidi, battericidi e farmaci [2,3].

Recenti applicazioni sono rivolte alla minimizzazione della produzione dei fanghi di supero (ozonolisi in linea acque) [4,5,6] e per l'ottimizzazione dei comparti di digestione aerobica e anaerobica (ozonolisi in linea fanghi) [7], [8], [9].

2.2 Il progetto PerFORM WATER 2030

Il progetto PerFORM WATER 2030 – finanziato da Regione Lombardia su fondi europei per una durata complessiva di circa 4 anni (gennaio 2018 – dicembre 2021) – si poneva l'obiettivo di realizzare una piattaforma di ricerca, sviluppo e validazione di tecnologie e strumenti conoscitivo/decisionali, volti a garantire una gestione efficace ed efficiente del Servizio Idrico Integrato. SIAD è stata attiva con impianti a scala pilota e scala reale nelle ricerche relative al comparto acque (ozono e trattamento AOP per la rimozione dei MIE), fanghi (ozonolisi per la riduzione del fango di supero), recupero energia e materia (ozono per aumentare la frazione di metano nel biogas), oltre che a valutazioni relative all'impatto della sezione depurativa sull'atmosfera (GHG, VOC, PM10, bioaerosol).

L'attività sperimentale è stata condotta presso un impianto nel nord Italia avente potenzialità di 30.000 AE (gestito da Gruppo CAP).

2.3 Descrizione delle sperimentazioni

2.3.1 Ozono e trattamento AOP per rimozione MIE

Il reattore di contatto a scala pilota era costituito da 2 colonne in acciaio inox connesse in serie (V_{tot} 650 l, H = 6 m) con diffusori microporosi posti alla base delle stesse. L'ozono necessario è stato prodotto in campo con un generatore alimentato con O_2 puro in grado di produrre fino a 200 gO_3/h al 7% in peso sull' O_2 alimentato.

Durante la sperimentazione è stata trattata l'uscita del sedimentatore secondario dopo filtrazione, a monte della disinfezione finale.

Le portate trattate, comprese fra 1,3 e 1,9 m³/h, hanno determinato un tempo di contatto compreso fra 20 e 30 minuti circa. La durata media delle prove è stata di 4 ore ciascuna, con dosaggi di ozono compresi fra 4 e 8 mgO₃/l.

Oltre ai test con solo O₃ sono stati valutati processi di ossidazione avanzata AOP con contestuale dosaggio di H₂O₂.

Sono state effettuate 10 campagne di campionamento, con cadenza bi-trimestrale, con campioni compositi e istantanei, analizzando 19 composti (12 farmaci, 1 prodotto di trasformazione di un farmaco, 1 prodotto industriale e 5 fragranze).

Il trattamento ossidativo è efficace nella rimozione della maggioranza delle sostanze target analizzate, con rese di rimozione superiori al 95% per consumi netti di O₃ entro i 4 mgO₃/l (Fig.1). Nel caso di composti refrattari al trattamento con solo Ozono, la combinazione con Acqua ossigenata (processo AOP) ha consentito di ottimizzare i meccanismi di ossidazione, raggiungendo rese di rimozione fino a 4 volte superiori rispetto all'utilizzo del solo Ozono (H₂O₂:O₃=2:1).

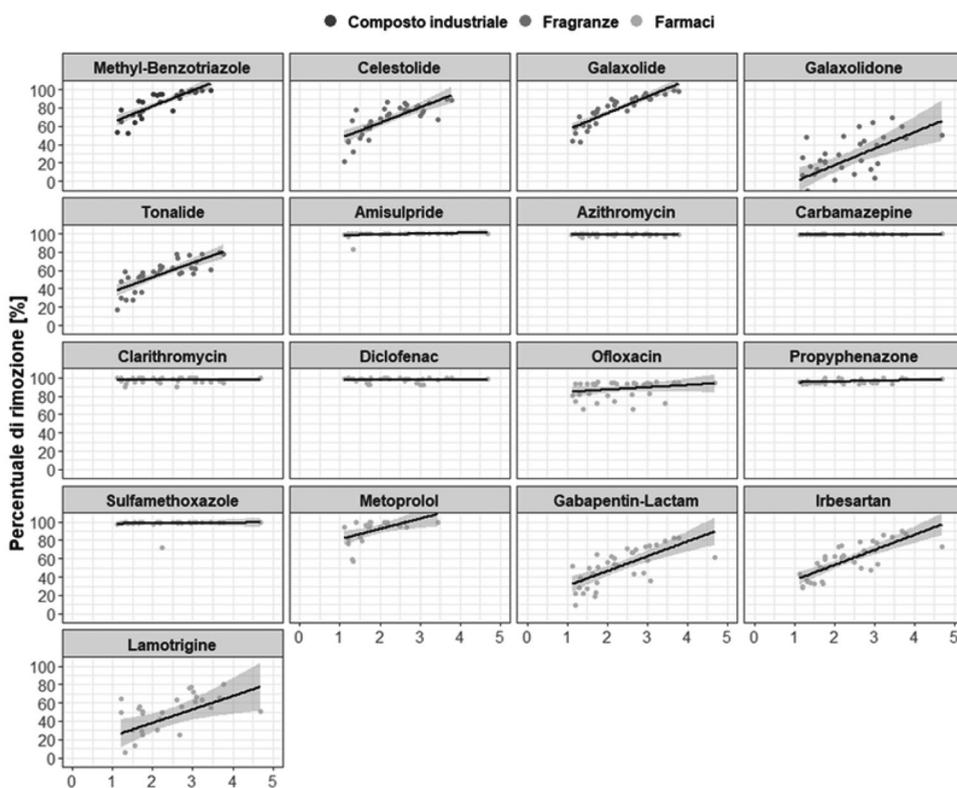


Fig. 1 – Rese di rimozione dei MIE in funzione del consumo di O₃.

2.3.2 Ozonolisi su fango in digestione anaerobica

Il pre/post trattamento del fango in digestione anaerobica mediante processi di natura chimico-fisica viene effettuato allo scopo di ottimizzare la produzione finale del biogas. L'attività di ricerca in oggetto [10,11] ha valutato le prestazioni conseguibili con l'applicazione in digestione anaerobica del processo di ozonolisi al fine di migliorare le caratteristiche quali-quantitative del fango trattato e incrementare le prestazioni del processo anaerobico in termini

di produzione di biogas e di riduzione dei solidi da smaltire. Il test è stato eseguito con un impianto a scala reale (Fig. 2) costituito da generatore di ozono ad O_2 puro (capacità massima circa $1,8 \text{ kgO}_3/\text{h}$ al 13% w/w), reattore MIXFLO₃ con volume utile circa 1.300 litri. La sperimentazione ha avuto una durata di circa 8,5 mesi (7 mesi in discontinuo, 40 giorni in continuo) durante il quale sono stati trattati circa $3 \text{ m}^3/\text{h}$ di fango preispessito (misto primario e secondario) con tempo di ritenzione idraulico (HRT) medio di 26 minuti. Il fango ozonizzato veniva reintrodotta nel preispessitore prima della sua alimentazione al digestore anaerobico.

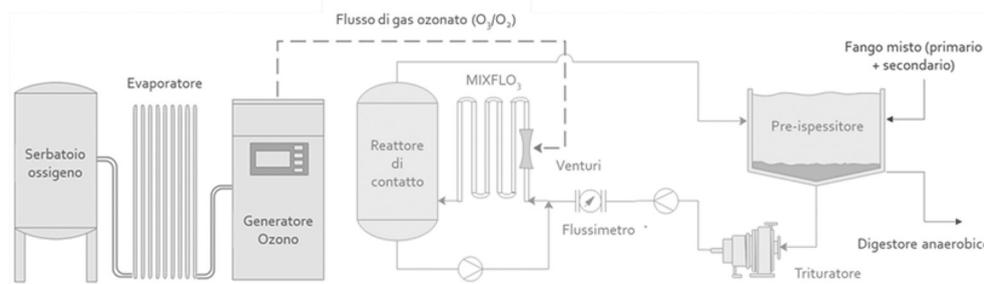


Fig. 2 – Schema dell'impianto di ozonolisi del fango preispessito destinato alla digestione anaerobica.

Contestualmente all'attività in campo, sono stati effettuati dei test in laboratorio con valutazione del BMP del fango pre- e post-ozonizzazione, sia sul fango preispessito che sul fango digestato.

I dati raccolti evidenziano come il processo di ozonolisi determini un generale aumento delle componenti solubili rispetto alla frazione totale.

Per dosaggi dell'ordine di $10 \text{ gO}_3/\text{kgVS}$ è stato osservato un incremento della produzione del biogas pari al 20% ed un miglioramento della qualità del biogas prodotto con l'abbattimento di circa il 50% del contenuto di H_2S , originariamente pari a 2.800 ppm.

In figura 3 si riporta la variazione dei valori medi dei risultati dei test di BMP (*Biochemical Methane Potential*) eseguiti lungo la filiera di trattamento.

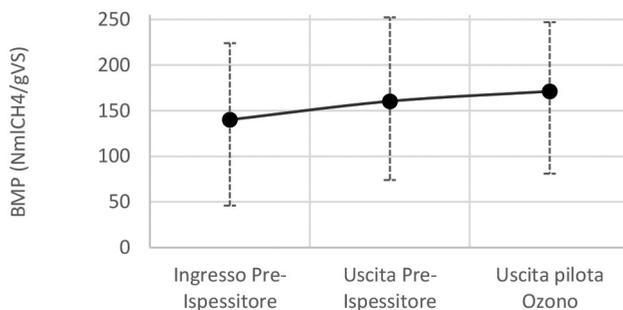


Fig. 3 – Valori medi dei risultati dei test BMP effettuati sul fango oggetto di studio nelle diverse sezioni della linea di trattamento.

Dall'analisi dei risultati delle prove BMP, si riscontra come, mediamente, il trattamento con ozono determini un incremento del potenziale metanigeno del fango. Rispetto al fango alimentato al preispessitore, tale incremento risulta in media pari al 14% in uscita al preispes-

sitore e al 22% in uscita all'impianto pilota. La variabilità registrata nelle determinazioni è connessa alla natura del fango e al dosaggio impostato. Lo studio eseguito a scala di laboratorio ha consentito di evidenziare un incremento dal 38% al 74% della produzione di metano per dosaggi da 20 a 140 gO₃/kgVS.

2.3.3 Ozonolisi in linea acque

L'applicazione del processo di ozonolisi nel comparto di ossidazione biologica aveva come obiettivo la minimizzazione della produzione di fanghi. L'ozono, applicato nei corretti dosaggi, è capace di agire sulle cinetiche batteriche e di ridurre i processi di crescita cellulare determinando, a parità di carico organico applicato, una riduzione della produzione specifica dei fanghi di supero. Inoltre, i fanghi prodotti possono mostrare una maggiore sedimentabilità legata alla capacità dell'ozono di ridurre/eliminare gli organismi filamentosi idrofobici. L'attività di ricerca ha previsto le seguenti fasi operative:

- Revamping impianto biologico a scala reale;
- Installazione e avviamento impianto di ozonolisi (schematizzato in Fig.4);
- Esercizio impianto biologico, con e senza ozonolisi in funzione.

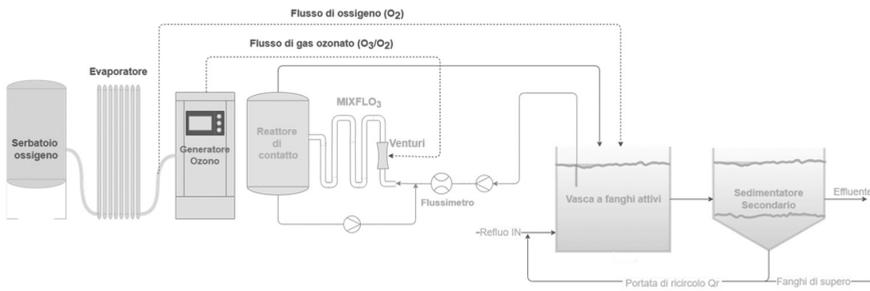


Fig. 4 – Schema dell'impianto di ozonolisi in ossidazione biologica.

I dati hanno evidenziato come il processo di ozonolisi consenta di ridurre la produzione di fango di circa il 39% con dosaggio pari a 7 gO₃/kgTSS_{esposto} (90 gO₃/kgTSS_{evitati}) (vedi Fig.5). I dati ottenuti nel corso della sperimentazione saranno riportati in maggiore dettaglio in un articolo scientifico di prossima pubblicazione sulla rivista Ingegneria dell'Ambiente.

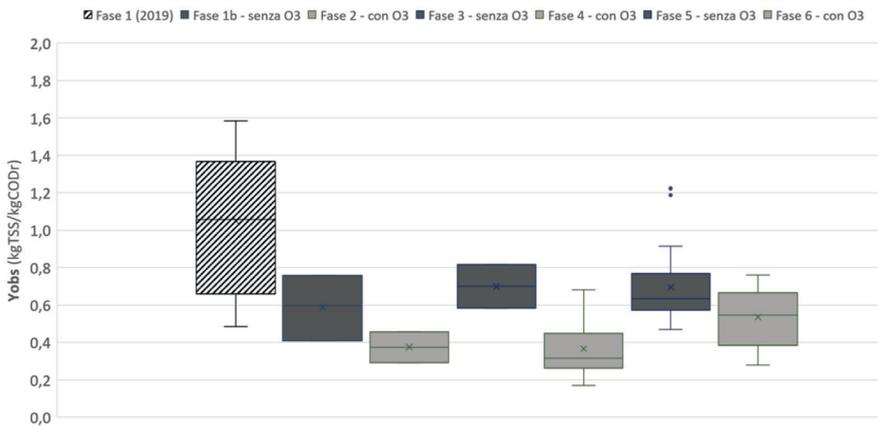


Fig. 5 – boxplot dei valori di Yobs nelle diverse fasi sperimentali.

I dati raccolti sono stati impiegati per la modellizzazione del processo ai fini di un'analisi di fattibilità tecnico-economica su larga scala.

2.3.4 Confronto dei costi fra gestione ad aria e gestione ad ossigeno puro

È stato effettuato un confronto economico dei costi di gestione per impianti di trattamento di potenzialità comprese fra 100.000 e 200.000 AE con digestione anaerobica, ipotizzando una fase di ossidazione biologica e un impianto di ozonizzazione finale per la rimozione dei MIE. Come reference è stata assunta, per ciascuna potenzialità esaminata, l'utilizzo di aria per la fase di ossidazione biologica e per la produzione di ozono. Il confronto viene poi fatto con un impianto ad O₂ puro autoprodotta ed utilizzato sia per l'alimentazione del generatore di O₃, che per l'ossigenazione del comparto biologico. Si è poi ipotizzato l'utilizzo dell'ozono anche per i processi di ozonolisi in linea acque e linea fanghi.

In tabella 1 vengono riportati i dati attesi in ingresso e in uscita agli impianti, utilizzati per elaborare il confronto.

| DATI IN INGRESSO | | U.M. |
|----------------------------|-----|--------|
| Portata | 300 | l/AE/d |
| COD _{in} | 110 | g/AE/d |
| BOD _{5in} | 60 | g/AE/d |
| TKN _{in} | 12 | g/AE/d |
| Ptot _{in} | 1 | g/AE/d |
| VALORI ATTESI ALLO SCARICO | | U.M. |
| COD out | 35 | mg/l |
| BOD5 out | 8 | mg/l |
| N-NH ₃ out | 5 | mg/l |
| N-NO ₃ out | 4 | mg/l |
| dosaggio ozono finale | 8 | mg/l |

Tab. 1 – Parametri specifici utilizzati per il confronto fra gestione ad aria e gestione ad ossigeno puro

Nell'elaborazione dei vari scenari si è ipotizzata una rimozione del 25% del BOD₅ e del 10% del TKN nella sedimentazione primaria. Il risparmio energetico derivante dall'impiego di O₂ puro cresce all'aumentare del dosaggio di ozono. Ciò diventa particolarmente vantaggioso quando si voglia impiegare O₃ per i processi di ozonolisi in linea acque e linea fanghi, che comportano minore produzione di fango da smaltire e più produzione di biogas, per un risparmio di gestione quantificabile in circa il 25% dei costi complessivi derivanti da energia elettrica e smaltimento fanghi. In Tabella 2 sono riportati i risultati delle simulazioni per diverse potenzialità d'impianto, con e senza Ozonolisi.

| Potenzialità impianto AE | Aria / O ₂ puro | dosaggio O ₃ terziario [mg/l] | ozonolisi | fanghi residui [t/d] | CH ₄ prodotto [Nm ³ /d] | D costi vs reference |
|--------------------------|----------------------------|--|-----------|----------------------|---|----------------------|
| 100.000 | aria | 8 | NO | 17 | 730 | 0% |
| 100.000 | O ₂ | 8 | NO | 15,5 | 630 | -16% |
| 100.000 | aria | 8 | SI | 11,5 | 1.063 | 2% |
| 100.000 | O ₂ | 8 | SI | 9 | 789 | -24% |
| 200.000 | aria | 8 | NO | 36,6 | 1.461 | 0% |
| 200.000 | O ₂ | 8 | NO | 33,2 | 1.347 | -16% |
| 200.000 | aria | 8 | SI | 23,6 | 2.126 | 1% |
| 200.000 | O ₂ | 8 | SI | 18,1 | 1.579 | -25% |

Tab. 2 – Confronto dei costi di esercizio fra conduzione ad aria e ad ossigeno puro, per impianti di diverse potenzialità, con e senza ozonolisi

Il processo ad O₂ puro consente inoltre di minimizzare le emissioni in atmosfera dalle varie sezioni di trattamento, con ulteriori evidenti benefici ambientali.

In figura 6 viene schematizzato un impianto di trattamento acque con finissaggio ad ozono e autoproduzione di O₂ puro e indicazione dei possibili ricircoli dei flussi contenenti O₂ e O₃, per massimizzare i benefici economici, ambientali e gestionali del processo.

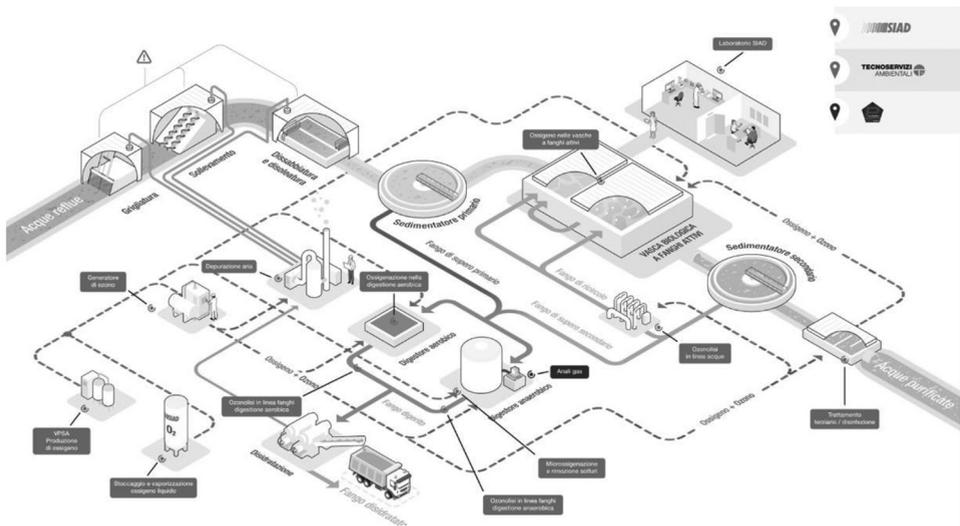


Fig. 6 – Visione dell'integrazione di O₂ e O₃ all'interno di un impianto tipo di depurazione

3. Conclusioni

L'impiego dell'ozono in un impianto di depurazione consente di migliorare l'efficienza depurativa complessiva di quest'ultimo, oltre a permettere una più conveniente gestione economica, con particolare riferimento alla minimizzazione nella produzione dei fanghi di supero (-39% con ozonolisi in linea acque) e all'ottimizzazione del comparto di digestione anaerobica (riduzione del 10% del fango da smaltire, 22% circa di aumento produzione di biogas). La generazione di O₃ a partire da O₂ puro (eventualmente autoprodotta) consente di recuperare flussi gassosi contenenti O₂ e O₃ e riciclarli alle diverse sezioni d'impianto, favorendo un'ulteriore ottimizzazione economica del processo depurativo (si possono stimare riduzioni

dei costi fino a circa il 25% rispetto ad un depuratore che utilizzi aria per l'ossidazione biologica e la produzione di O₃) riducendo al contempo le emissioni dell'impianto in atmosfera.

Bibliografia

- [1] **PerFORM WATER 2030. (2018)**. Piattaforma di ricerca e sperimentazione PerFORM WATER 2030. Disponibile su: <http://www.performwater2030.it>.
- [2] **Antonelli M., Benzoni S., Bergna G., Bernardi M., Bertanza G., Cantoni B., Delli Compagni R., Gugliandolo M.C., Malpei F., Mezzanotte V., Pannuzzo B., Porro E. (2020)**. "Contaminazione e rimozione di microinquinanti emergenti in acque reflue e in acque destinate al consumo umano". In: GdL-MIE. Inquinanti Emergenti. A cura di: Tartari G., Bergna G., Lietti M., Rizzo A., Lazzari F. e Brioschi C. Lombardy Energy Cleantech Cluster, Milano: 116-162.
- [3] **Margot J., Kienle C., Magnet A., Weil M., Rossi L., Felipe de Alencastro L., Abegglen C., Thoney D., Chèvre N., Schärer M., Barry D.A. (2013)** "Treatment of micropollutants in municipal wastewater: Ozone or powdered activated carbon?" *Science of The Total Environment*, Volumes 461–462, 2013, 480-498.
- [4] **Crutchik D., Franchi O., Jeison D., Vidal G., Pinto A., Pedrouso A. Campos J. L. (2022)** "Techno-economic evaluation of ozone application to reduce sludge production in small urban WWTPs". *Sustainability* 2022, 14, 2480.
- [5] **Chiavola A., Salvati C., Bongiolami S., Di Marcantonio C., Boni M. R. (2021)**; "Techno-economic evaluation of ozone-oxidation for sludge reduction at the full-scale. Comparison between the application to the return activated sludge (RAS) and the sludge digestion unit". *Journal of Water Process Engineering* 42 (2021) 102114.
- [6] **Gardoni D., Ficara E., Fornarelli R., Parolini M. & Canziani R. (2011)**; "Long-term effects of the ozonation of the sludge recycling stream on excess sludge reduction and biomass activity at full-scale". *Water Sci Technol* (2011) 63 (9): 2032–2038.
- [7] **Ak M.S., Muz M., Komesli O.T., Gokcai C.F. (2013)**; "Enhancement of bio-gas production and xenobiotics degradation during anaerobic sludge digestion by ozone treated feed sludge"; *Chemical Engineering Journal*, 230, 499–505.
- [8] **Bakhshi Z., Jauffur S., Frigon D. (2018)**; "Assessing energy benefits of operating anaerobic digesters at low temperature with solids pre-ozonation"; *Renewable Energy* 115 (2018) 1303-1311.
- [9] **Chacana J., Labelle M.A., Laporte A., Gadbois A., Barbeau B., Comeau Y. (2017)**; "Ozonation of Primary Sludge and Digested Sludge to Increase Methane Production in a Chemically Enhanced Primary Treatment Facility"; *Ozone: Science and Engineering*, 2017,39, NO 3, 148-158.
- [10] **Peroni M., Cascio M., Soderino D., Preda D., Pasinetti E., Catenacci A., Malpei F., Bernardi M. (2022)**; "Ozonolisi in digestione anaerobica: un caso di studio a scala reale e di laboratorio." *Ingegneria dell'Ambiente*, Vol. 9. N.2(2022), 84-99.
- [11] **Catenacci, A., Peroni, M., Gievers, F., Mainardis, M., Pasinetti, E., & Malpei, F. (2022)**; "Integration of sludge ozonation with anaerobic digestion: From batch testing to scenario analysis with energy, economic and environmental assessment". *Resources, Conservation and Recycling*, 186, 106539.

WATER PROJECT EUROPE - CHALLENGES AND ECO- INNOVATION ACTIONS ADDRESSING WATER SCARCITY AND DROUGHT IN MEDITERRANEAN COUNTRIES (INTERNATIONAL EVENT)

The degree of water scarcity and its political, economic and social implications are felt much more severely in regions like the Mediterranean, where climate change is coming at a very high pace. In the last 50 years, the total water demand has doubled as a result of demographic pressure and from the development of waterintensive activities, such as tourism and manufacturing. Water quantity and quality challenges together with proper strategies for integrated water management, considering irrigation, energy production, and domestic and industrial use, need to be properly addressed. International collaboration and innovation actions are preferable mechanism to tackle these challenges from technical and socioeconomic point of view. In the morning this workshop will gather the final main results of relevant EU-funded projeSTC which developed and validated demonstrative and full scale solutions. In the afternoon, industrial case studies for alternative water sources and risk management will be presented.

Organized by: **Ecomondo Scientific Technical Committee & Water Europe**

Session Chairs

Evdokia Achilleos and Giulio Pattanaro, European Commission
Andrea Rubini, Water Europe and Ecomondo STC

A Water Utility Data- Driven Analytical Software for Water & Wastewater Networks

Pietro Oliva, pioliva@grundfos.com, Cedric Macleod, Grundfos Pompe Italia SRL, Truccazzano

Summary

Water Utilities have for sometime been collecting pipe asset data, inspection data, work order data, billing data and SCADA data from their water & wastewater networks. Harvesting enormous amount of data has been the new trend. It has now become essential for a Water Utility to have a data-driven analytical software to harness the data to further improve network operation efficiency and ensure the investment made on pipe network replacement provides the highest return on water leakage reduction. An analytical software tool is now readily available in the market for water utilities to truly benefit from data driven technology.

1. Introduction

Water scarcity and drought are strongly impacting the Mediterranean Area, climate change events like extreme heat wave, heavy rainfall and inadequate water infrastructure together with poor water management are some the key factors of the problematic situation under everyone' eyes. Reduction in available potable drinking water to consumers, water scarcity challenging agricultural and farming markets are affecting our daily life and main stakeholders in the water market are called to play an important role in it. Water Utilities never more than now need tools to optimize their water networks.

Grundfos offers an analytical Software in partnership with Baseform, to support Water Utilities challenges. The Software can be easily implemented using Water Utilities existing data and systems (e.g. SCADA, sensors, cloud and local database, GIS, work force management and more). The Software is to be used by the Water Utility for analytics within urban water and wastewater networks and it is structured by different modules for water networks management and optimization (e.g.: network overview and insights, monitoring with bottom-up water & energy balance, supporting asset management including pipe failure prediction). The Software includes a leakage detection system for water loss reduction and an effective pipe replacement plan for best return on investment based on failure prediction models using water utility data.

2. Paper

In this paper we will present some key technology supporting pipe failure prediction models and real time leak detection methods, implemented by the Software.

2.1 Pipe Failure Prediction [4, 5, 6, 7]

The Software includes a pipe failure analysis app that will allow the Water Utility to evaluate the actual status of the assets, as well as how the failure rate will change during the time. It is

also possible to rank assets, validate and compare their data in order to run different simulation and choose the best alternative.

The study of “*Stochastic models for prediction of pipe failures in water supply systems*”, by André Damião da Costa Martins from Instituto Superior Técnico, UTL Lisboa, Portugal [4, 5]. Stochastic Models failures in water systems are best suitable since they take into account the random nature of pipe failures. Three models were applied to historical data form a Portuguese urban water supply:

- The Weibull accelerated lifetime model presented the best results, accurately predicting failures and detecting pipes with high likelihood of failure.
- The Linear Extended Yule Process (LeyP) could also effectively detect pipes more prone to fail; however, it presented a clear tendency to overestimate the number of future failures.
- The single-variate Poisson process is the simplest model of the three *and* presented lower quality failure *predictions*. In single-variate models *pipes* are *differentiated* using grouping criteria rather than covariates and they present the issue of requiring the division of failure data into several homogeneous groups, which can lead to a shortage of records in some groups, where predictions may not be significant. Multivariate models, which use covariates, allow to differentiate the pipe failure distributions without splitting failure data. In addition, these models allow a better understanding of how the different pipe attributes influence the occurrence of failures.

Data Assessment – Portuguese Water Utility Case Study takes failure data provided by SMAS O&A, a large Portuguese utility where the Software is in use. Two types of data was used: pipe inventory or GIS and the history of pipe failures taken from maintenance / work order records.

SMA O&A provided the following data : [4, 5]

Number of pipes: 11,472.

Total length: 367km.

Number of failures: 1,921.

Number of pipes with no failures: 10,329 (90%).

Total length of pipes with no failures: 287km (78%).

Figures below (Fig. 1 & Fig. 2) are taken from the study, show the distribution of pipes according to material and installation dates. [4, 5]

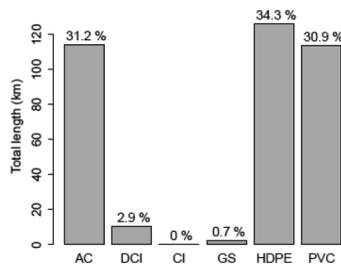


Fig. 1 – Total length frequencies by pipe material.

Most common pipe material are the Asbestos Cement (AC), High-Density PolyEthylene (HDPE) and PolyVinyl Chloride (PVC). These three materials together represent more than 95% of the entire water supply network.

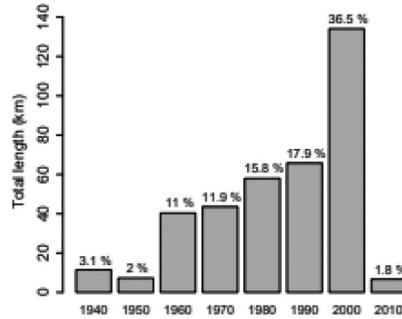


Fig. 2 – Shows the plot of the total length per installation decade.

In practice, only a few data are truly mandatory: Pipe ID, material, length and installation date and the corresponding work orders records of failure events (bursts or other types) including ID of pipe and failure date.

The Software besides the minimum data requirements, is also able to handle other data collected by utilities (roughness, corrosivity, depth, pressure, ...) and collect data directly from public sources such as roads and trailways to further improve the prediction model. [6, 7]

One of the most common issues are missing data (empty attribute records) as well as anomalous data (inconsistencies between the pipe inventory and the maintenance records). Water utilities have only recently become aware of the importance of keeping an organized, updated, and complete network inventory, connected with a detailed failure record database. However, failure data history is still very limited in most utilities and may contain inaccurate, estimated or missing data which can make the reliable prediction of system failures extremely difficult. The Software is able to filter out inconsistent data that can pollute the results, allow for adding assumptions when data is unknown. In other words, the Software is a predictive tool that can be configured to handle various data set and modelling scenarios. This allows the Water Utility to update the prediction models based on the evolving and new data sets. [6, 7]

2.2 Results on using 3 different models [4, 5]

The three Stochastic models considered in the study presented good prediction results.

- WALM appeared to be the best of the three models, because it combined accurate predictions with a good ability of detecting pipes more prone to fail.
- LEYP presented a really good performance when detecting pipes more prone to fail.
- The Poisson process was the one that presented the worst general performance.

WALM and LEYP present an important advantage over the Poisson process: the use of covariates allows a better understanding of the different effect of the pipe variables and does not require the division of the failure data, which could be a problem when dealing with small failure data. The study confirms the importance of past failure records.

The Software uses LEYP, along with the Poisson Process (Martins 2013). An arbitrary number of covariates can be taken into account in this implementation rather than simply considering the pipe diameter and the logarithm of pipe length. The model also supports the inclusion of categorical variables (for instance, pipe pressure classes or soil types). Once the LEYP parameters have been estimated, the failure probabilities of each pipe are obtained using the Negative Binomial probability function, presented in Le Gat (2009) and Martins (2011). The predicted number of failures is then obtained as the expected value of the same distribution. [6, 7]

Summarizing the Software is a tool that will enable:

- Automated data cleansing, fill-in and filtering procedures;
- Estimate how many failures will happen in the next year and beyond;
- Measure the effect of each explanatory variable (material, pressure, velocity, location...) and of the individual asset's history (previous failures);
- Predict the effect of age on failure rate and likelihood of failure for each individual pipe, through time.

2.3 Leak Detection [1, 3]

Real-time monitoring of DMA can be a powerful tool for improving the efficiency of water supply systems and reduce losses. As it is unrealistic to be permanently attentive to all the zones, Water Utilities can actively and predictively monitor the network by using an analytical software, which support detecting anomalies and calculate the exact amount of volume lost. By categorizing anomalies and events, the software generates Water and Energy balance reports with a "bottom-up" approach.

The Software uses the method highlighted in the study done by our Baseform partners "*Leak detection over mid - to long-term horizons*" by Margarida Azeitona; Diogo Vitorino; Sérgio Teixeira Coelho. [1] The Software also uses flow prediction technology supporting methods to detect water loss, developed by this same team in the study "*In defense of the demand pattern, a software approach*" that was presented in the 16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA 2014 that took place in Bari, Italy. [3]

2.4 Minimum Night Flow Estimation [1, 3]

The estimation of leakage in a DMA is usually conducted by analyzing minimum night flow measurements (FARLEY and TROW, 2003; PUUST et al., 2010) [2]. The minimum night flow (MNF) is the lowest flow supplied to a hydraulically isolated network area during the night period and can be divided in four components: customer night use, exceptional customer night use, background leakage and bursts. The choice of this period for estimating real losses derives from the fact that consumption (customer use) is generally lower at that time than during the remainder of the day, and consequently leakage will represent a larger fraction of the measured flow. The methodology highlighted in the leak detection study to estimate background leakage focuses on the analysis of low percentiles in the 24-hour demand pattern – in particular, the 5% percentile (P5). In simple terms, P5 can be understood as the value below which 5% of the observations are found. Flow data for one day is analyzed as a sequence of 96 15-min consumption values. By considering P5, we are in practice obtaining a robust estimate by filtering at least 4 extreme observations (or 1 hour's worth of not necessarily sequential measurements).

To illustration of this methodology, uses the operation of an existing urban water distribution network serving a population of 350,000, comprising over 50 DMA and approximately 1300km (≈800mi) of pipelines. The Operations Division at this utility is particularly focused on the performance of active leak detection procedures in the network. Figure 3 below illustrates the minimum night flow time series for the 1st semester of the year in one DMA. This figure gives an overall comparative perspective of two trend events detected in real-time using the P5 method. The first event was detected at the beginning of March and the figure shows the impact of that leak event over 1.5 months (43 days), with a continuous increase in apparent water consumption over that period. After the leak was identified and repaired, an abrupt decrease in consumption is observed. In this case the detector seeks an increasing trend in the time series and is configured to wait until it finds 4 valid outlier observations during the previous month.

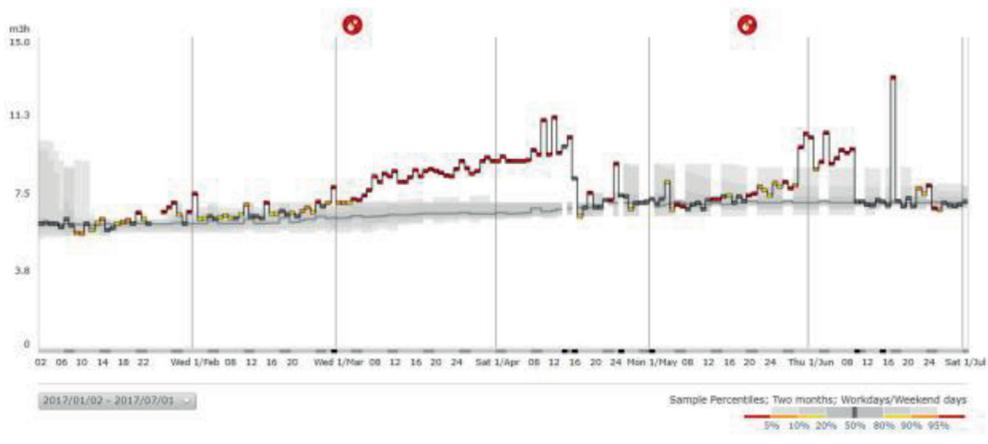


Fig. 3 – Minimum night flow data and demand pattern estimated for the 1st semester of 2017 with the sample percentiles-based approach (grey scale from percentiles 0%/100% – white, to 50% – black).

Figure 4 depicts the corresponding hourly flow time series for the same DMA, where the underlying trend is clear and relatively stable.

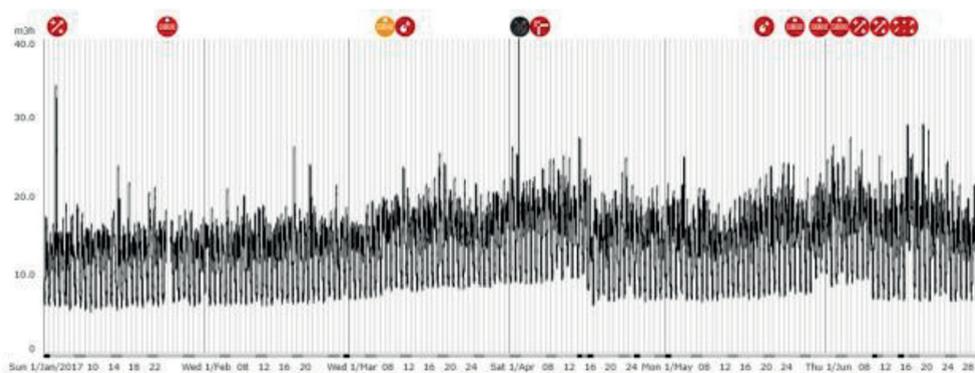


Fig.e 4 – Hourly flow data for the 1st semester of 2017.

Obtaining adequate predictions (in other words, establishing normality) is crucial in determining whether the behavior recorded during a specific period is normal (i.e., as expected) or may reveal abnormal events. Whenever this type of events are detected, the key to the process is to validate them: if they are genuine (a positive detection of a leak or some other type of abnormal consumption) it is crucial that they are removed from the base records used to dynamically build the demand pattern, so that the pattern doesn't associate this with possibly normal behavior, and this type of events can continue being detected in the future. The involvement of the utility's operators is key in verifying the importance and validity of these events that are systematically collected by the software. The early detection of leaks leveraged by this method allows Operations to address the problem before it becomes more severe, thus saving water and reducing repair costs service disruptions and customer complaints. This event detector can be fully adjusted to the DMA's characteristics and includes a wide range of strategies for filtering disturbing events in minimum night flow (e.g. noise in the data, data

acquisition problems, public holidays), and thus obtaining a robust way for detecting small, invisible leaks which would otherwise be difficult to find.

3. Conclusions

With more than 75 years of experience as one of the leading companies in water industry, Grundfos shares the value of reducing the impact of water scarcity and drought effects, by promoting the implementation of analytical solutions, helping Water Utilities to optimize water networks asset management and reduce leakage. Grundfos also realized a scripted movie “INTO DUST” to bring attention to the value of water and effects of water scarcity.

Bibliography:

- [1] **Loureiro D.; Amado, C.; Martins, A; Vitorino D.; Mamade A.; Coelho S.T.** – “Water distribution systems flow monitoring and anomalous event detection”, *Urban Water Journal* · January 201
- [2] **Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D., Koppel, T.** – “A review of methods for leakage management in pipe networks”, *Urban Water Journal*, 7, 2010, pp. 25-45.
- [3] **Vitorino D., Loureiro D., Alegre H., Coelho S., Mamade.** – “In defense of the demand profile: a software approach”, *Procedia Engineering* (Science Direct), Elsevier, Vol 89, 2014, pp. 982–989.
- [4] **Martins, A., (2011).** “Stochastic models for prediction of pipe failures in water supply systems. Thesis (Master): Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, Portugal.
- [5] **Martins, A., Leitão, J. and Amado, C., (2013).** “Comparative study of three stochastic models for prediction of pipe failures in water supply systems”. *Journal of Infrastructure Systems*, 19 (4), 442–450. doi:10.1061/(ASCE) IS.1943-555X.0000154.
- [6] **Azeitona A., Vitorino D., Coelho S.,** “Network failure prediction: Applying statistics to open data and continuous data acquisition”, 18.º ENASB/18.º SILUBESA, Porto, 10-12.10.2018
- [7] **Alegre, H., Covas, D., Coelho, S. T., Almeida, M. C. and Cardoso, M. A.** (2011, Sep.). “An integrated approach for infrastructure asset management of urban water systems”. Mulheim An Der Ruhr, German. IWA 4th LESAM.

Measuring the water stress in the agricultural sector. An application for Mediterranean area towards Circular Economy

*Tiziana Crovella tiziana.crovella@uniba.it, Giovanni Lagioia giovanni.lagioia@uniba.it,
Annarita Paiano annarita.paiano@uniba.it,*

*Dipartimento di Economia, Management e Diritto dell'Impresa - Università degli Studi di Bari
Aldo Moro*

Riassunto

Il settore agricolo utilizza circa l'80% (nelle zone aride fino al 90%) delle risorse idriche globali ed è responsabile del maggior valore di impronta idrica. Inoltre, recenti problemi di scarsità d'acqua e siccità stanno colpendo in particolare questo settore. L'obiettivo generale di questa applicazione è fornire suggerimenti per prevedere scenari sostenibili per la risorsa idrica utilizzata nel settore agricolo. In particolare, attraverso il metodo quantitativo e l'indicatore Water Footprint è stata effettuata una quantificazione del consumo idrico di una coltura tipica dell'area mediterranea: l'olivo. I risultati hanno evidenziato che l'implementazione di pratiche di risparmio idrico possono ridurre l'impronta idrica della produzione delle colture e, quindi, alleviare la scarsità di acqua, raggiungendo anche obiettivi dell'economia circolare.

Summary

Agricultural sector uses about 80% (in the arid zones up to 90%) of the global water resources and is responsible of higher value of Water Footprint. Additionally, recently problems of water scarcity and drought are affecting in particular this sector. The general aim of this application is to provide suggestions in order to predict sustainable scenarios for the water resource used in agriculture. Particularly, through the quantitative method and the Water Footprint indicator it was carried out a quantification of the water consumption for a traditional crop in Mediterranean area: the olive. The results highlighted that the implementation of water-saving practices can reduce the Water Footprint of crops production and, thus, alleviate water scarcity, towards the goals of Circular Economy.

1. Introduction

Agriculture is the main sector of the economy and the largest consumer of fresh water. The consumption of fresh water recorded is between 70-80% (in arid areas suffering from drought even 90%). This quantity is used for agricultural purposes, in particular, for the production of crops in irrigated land [1, 2, 3]. Especially warm countries and Mediterranean, which suffer from variable climate and seasonal rainfall record periods, present water deficit that lead to significant reductions in productivity [4] with the need to often import food products from Asian countries. Drought is a natural danger that affects the ecosystems of the Mediterra-

nean, in particular on the eastern side, where an Italian region, named Apulia, analyzed in this paper, is located [5]. This water shortage problem impacts still a wide range of climatic, hydrological, and ecological systems, all of which have socioeconomic implications [6].

For this reason, we present a replicable experiment, starting from an Italian region that suffering this drought problem like Mediterranean regions: this sample region presents the same climate conditions and produce the same crops as in the eastern area of the Mediterranean. Additionally, in order to present an adequate assessment, we used the Water Footprint indicator according Hoekstra et al. [7].

At general level, analyzing the Water Footprint we observed that the agricultural sector is the one with the highest overall values in Italy and globally (Tab. 1). Particularly, the green footprint of this sector represents 86.26% of the total national green footprint. The blue footprint, on the other hand, is 70.02% of the total national blue footprint. Finally. Moreover, the grey footprint represents 42.91% of the total national grey footprint.

Furthermore, among the most traditional crops, olive presents the highest Water Footprint equal of 40,270 ha m⁻¹ [8]. Consequently, we analyzed olive crops with the aim to provide some sustainable agronomic strategies towards Circular Economy in Apulia and alongside in Mediterranean area.

| | Water Footprint of agricultural production | | | Pasture water Foot-print | Water Footprint from water supply for animals | Water Footprint of industrial production | | Water Footprint of domestic water supply | | Water Footprint total | | |
|---------------|--|---------|---------|--------------------------|---|--|---------|--|---------|-----------------------|-----------|-----------|
| | Green | Blue | Grey | Green | Blue | Blue | Grey | Blue | Grey | Green | Blue | Grey |
| ITALIAN LEVEL | 41,793 | 4,707 | 6,532 | 6,655 | 393 | 814,5 | 4797,4 | 807,0 | 3,891.9 | 48,449 | 6,722 | 15,222 |
| GLOBAL LEVEL | 5,771,250 | 899,129 | 733,179 | 912,807 | 45,923 | 37,534 | 362,735 | 42,023 | 282,005 | 6,684,056 | 1,024,608 | 1,377,919 |

Tab. 1 – Comparison of water footprint at Italian and global level (Mm³/year) (1996-2005). Source: Authors' elaboration on [9].

2. Report

2.1 State of the art

Drought problems in Mediterranean have been studied mainly in the last thirty years with the first peak (1,075 contributes) starting in 2013 as indicated in ScienceDirect platform [10]. Nevertheless, the opportunity to assess water stress and drought problem in this area through Water Footprint indicator has been little considered by researchers also due to the complexity of its application. For this reason, the first peak was recorded in 2022 with 192 results [11]. Thus, a doubt about the applicability of this indicator was also highlighted by Chapagain and Tickner in 2012 [12]: after the publication of Hoekstra [13] on the theorization of the Water Footprint, emerged a debate on the value and shortcomings of use of water footprint tools to support better water management. However, through their review, [14] the authors suggested that this indicator is an effective mean of increasing awareness of global water challenges among all agriculture stakeholders. In this context, this research was designed to assess the Water Footprint of olive crops that generates the highest Water Footprint value in Italy as indicated in Table 2.

| | Green Water | Blue Water | Grey Water |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Abruzzo | 1619 | 71 | 3 |
| Basilicata | 1801 | 211 | 3 |
| Calabria | 1992 | 107 | 4 |
| Campania | 1815 | 88 | 3 |
| Emilia-Romagna | 1418 | 117 | 3 |
| Friuli Venezia Giulia | 1480 | --- | 3 |
| Lazio | 1736 | 98 | 3 |
| Lombardia | 1468 | 7 | 3 |
| Marche | 1545 | 179 | 3 |
| Molise | 1733 | 87 | 3 |
| Piemonte | 1507 | 10 | 2 |
| Puglia | 1832 | 215 | 3 |
| Sardegna | 1696 | 363 | 3 |
| Toscana | 1690 | 78 | 3 |
| Trentino Alto Adige | 1264 | --- | 3 |
| Umbria | 1659 | 122 | 3 |
| Veneto | 1438 | 19 | 3 |
| Total (Italy) | 27693 | 1772 | 51 |
| Average (Italy) | 1629 | 118 | 3 |

Tab. 2 – Estimates of olive crops water footprints in Italy (m^3/ton). Source: Authors' elaboration on [15].

2.2. Methodology

In this paper we used Water Footprint (WF) indicator elaborated by Hoekstra et al. in 2011 [16] with the general aim to measure the amount of water used to produce goods and services in the human and industrial activities. Particularly, we calculate the water consumption associated to a traditional crop produced in Mediterranean area and in Apulia, in Southern Italy, according to the general equation (1):

$$\text{Water Footprint} = \text{Blue Water} + \text{Green Water} + \text{Grey Water} \quad (1)$$

Therefore, according to the definition elaborated by [17] blue, green and grey water are defined as:

- *Blue water footprint* “represents the water that has been sourced from surface or groundwater resources and is either evaporated, incorporated into a product or taken from one body of water and returned to another, or returned at a different time. Particularly, irrigated agriculture, industry and domestic water use can each have a blue water footprint”.
- *Green water footprint* “is the water derived from precipitation that is stored in the root zone of the soil and evaporated, transpired or incorporated by plants. It is particularly relevant for agricultural, horticultural and forestry products”.
- *Grey water footprint* “is the amount of fresh water required to assimilate pollutants to meet specific water quality standards. The grey water footprint considers point-source pollution discharged to a freshwater resource directly through a pipe or indirectly through runoff or leaching from the soil, impervious surfaces, or other diffuse sources”.

From an operational perspective, this study was carried out in accordance with ISO 14046:2014 (ISO/TC 207/SC5, 2014). This technical standard deals with Environmental management - Water footprint - Principles, requirements and guidelines and in particular specifies principles, requirements and guidelines related to water footprint assessment of products, processes and organizations based on Life Cycle Assessment (LCA). Furthermore, the result of a water footprint assessment is a single value or a profile of impact indicator results [18]. Instead, in terms of quantitative units we used 1 ton of product, e.g. 1 ton (t) of olives. This quantitative representation is called “functional unit” (FU): a correct definition of this is essential for building and modelling a product system in Life Cycle Assessment (LCA) [19]. Actually, a correct identification of FU of these analyzed crops serves as a reference basis for all calculations related to the environmental impact assessment and the future elaboration of Circular Economy models. Proceeding through the equations, green water footprint (2) and blue water footprint (3) were calculated dividing the green or blue Crop Water Utilization¹ (CWU), by the crop yield (Y, t/ha):

$$WF_{green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \text{ (m}^3\text{/t)} \quad (2)$$

$$WF_{blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \text{ (m}^3\text{/t)} \quad (3)$$

However, for the grey water footprint (4) we used the equation:

$$WF_{grey} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \text{ (m}^3\text{/t)} \quad (4)$$

Where L represents the pollutant load, C_{max} the maximum acceptable concentration, C_{nat} the natural concentration of the receiving body.

The total WF refers to the sum of the green, blue and grey Water Footprint according to the equation (1). Furthermore, in this study, we used CW 8.0 model (2018) software application for the calculations of the evapotranspiration and crop water requirements according (2, 3).

CWU_{green} and CWU_{blue} have been indicated in m^3/ha and calculated (5) from the accumulated corresponding actual crop evapotranspiration (ET_c , mm/day), according to the equations (6) and (7):

$$CWU = CWR \frac{P}{Y} \quad (5)$$

$$CWR = 10 * \sum_{d=1}^{lgP} ET_c \quad (6)$$

Where CWR is the Crop Water Requirement (m^3/ha), P the production (t), Y the yield (t/ha).

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad (7)$$

K_c is the crop coefficient related to the characteristic of the crops and ET_0 is the evapotranspiration value calculated according climatic condition. Moreover, the inventory of climatic data

¹ CWU: also known as evapotranspiration (ET) and that represents soil evaporation and the water used by a crop for growth and cooling purposes.

was used in CW to elaborate *Monthly ET₀ Penman-Monteith equation*. ETc (8) was calculated using the approach of the dual crop coefficient and forecasting of the rain events on the Kc value (Tab. 3) according [20].

$$ET_c = (K_{cb} + K_e) \times ET_0 \tag{8}$$

$$K_c = K_{cb} + K_e \tag{9}$$

Where K_{cb} is the basal crop coefficient, K_e is the soil coefficient.

| Planting Period | Harvesting Period | Yield (t/ha) <i>rain fed</i> | Yield (t/ha) <i>irrigated</i> | Kc _{in} | Kc _{mid} | Kc _{total} |
|-----------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| March 2018 | November 2018 | 2.50 | 10.0 | 0.65 | 0.70 | 0.70 |

Tab. 3 – Agronomic data of olive crops. Source: Authors' elaboration based on [21, 22].

Therefore, the CWU (green and blue) and then the WF (green and blue) for olive crops identified were calculated, However, in order to calculate the WFgrey we started from equation (4) and used (10):

$$WF_{grey} = \frac{(\alpha * AR)}{(C_{max} - C_{nat})} \tag{10}$$

Where α : fraction of leaching detected by BURP (2020), AR: rate of application of chemicals to the field per hectare (kg/ha) based on regulations [23], C_{max}: the maximum acceptable concentration (kg/m³) based on legislation [24], C_{nat}: value of 0 as suggested by [25], Y: yield production (t/ha). For the calculation of the WF grey we used nitrogen fertilizers, assuming a leaching rate of 10% (α). Moreover, for C_{max} value we used European maximum permissible concentration of nitrogen equal to 11.3 mg/L.

2.3 Apulia Region

One of the most important sectors of the Mediterranean area, and at the same time in Apulian agro-industry, is the olive crops production [26, 27]. This sector is also responsible for the consumption of 1,832 m³/t of green water, 215 m³/t of blue water and 3 m³/t of grey water [28]. In this context, Apulian territory has an area dedicated to olive growing of about 380,000 ha, which has been expanded especially in the last five years [29].

2.4 Results and discussion

Starting from the estimates on [30] it emerges that Puglia has the highest Water Footprint associated with the olive trees, equal to 2,050 m³/ton. For olive crops the major component is represented by the grey component (89%) while the blue and green component was over 5% each. These results are similar with Water Footprint in Russo [31]. Particularly, olives presents the highest (86.3%) water footprint value for the grey and the lowest value for the blue components (5%). Furthermore, comparing result with the Italian scale, olives present the

highest value of the green component (92.06%), whereas tomatoes the highest value of the blue component (28.17%) and grapes the highest value of the grey component (17.14%) [3]

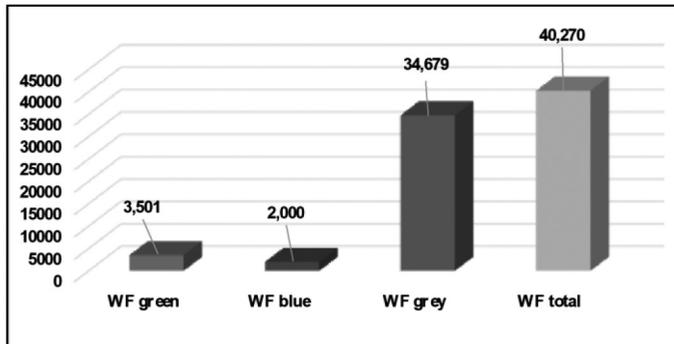


Fig.1 – Water Footprint of olive crops (m³/ha) Source: Authors' elaboration.

Lastly at regional level, olives present a higher impact by 40,270 m³/ha in terms of Water Footprint total and grey water has the greatest incidence (Fig.1).

3. Conclusion

This application represents an evolution of the first study presented in Ecomondo 2020 [32]. In particular, based upon first result obtained the use of waste water for the production of olive crops could reduce the demand for water from consortia by more than 1/3 and, therefore, also reduce the costs associated with the use of this resource [33].

Conversely, after this study we highlighted that the adoption by farmers of integrated high agricultural production scenarios can reduce the grey water footprint of olive crops by up to 10% compared to standard production represents a possible solution to reduce Water Footprint towards Circular Economy.

Hence, we recommend expanded implementation of agricultural practices designed to reduce the Water Footprint, to enhance environmental sustainability and to optimize management and ecological costs in the olives production sector.

In conclusion, this research contributes to increase the knowledge on the applicability and usefulness of foot-printing tools, such as Water Footprint, for assessing and enabling more environmentally sustainable agricultural systems for water usage. Nevertheless, a main difficulty for the application of these methodologies is given by the climatic variables necessary to build the inventory of the data for the calculation of the Water Footprint.

Bibliography

- [1] **Molden, D** (2007). *Water for food. Water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture*. Routledge. International Water Management Institute (IWMI) and FAO, pp. 664, ISBN 978-184-4073-96-2.
- [2] **Vozhehova, R.A, Lavrynenko, YO, Kokovikhin, SV, Lykhovyd, PV, Biliaieva, IM, Drobitko, AV, Nesterchuk, VV** (2018). Assessment of the CROPWAT 8.0 software reliability for evapotranspiration and crop water requirements calculations. *Journal of Water and Land Development*, 39, 147-152. DOI: 10.2478/jwld-2018-0070.
- [3, 26] **Crovella, T, Paiano, A, Lagioia, G** (2021). A meso-level water use assessment in the Mediterranean agriculture. Multiple applications of Water Footprint for some traditional crops, *Journal of Cleaner Production*, 330, 129886, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129886>.

- [4] M'äkinen, H, Kaseva, J, Balek, J, Kersebaum, K, Nendel, C, Gobin, A, Olesen, J, Bindi, M, Ferrise, R, Moriondo, M, Rodriguez, A, Ruiz-Ramos, M, Takac B,PJ, Ventrella, D, Ruget G, CF, Kahiluoto, H (2018). Sensitivity of European wheat to extreme weather. *Field Crops Res*, 222, 209–217. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.008>.
- [5] Mohammed, S, Elbeltagi, A, Bashir, B, Alsafadi, K, Alsilibi, F, Alsalman, A, Zeraatpisheh, M, Sz'eles, A, Hars'anyi, E (2022). A comparative analysis of data mining techniques for agricultural and hydrological drought prediction in the eastern Mediterranean, *Computers and Electronics in Agriculture*, 197, 106925, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106925>.
- [6] Wilhite, D, Pulwarty, RS (2017). *Drought and water crises: integrating science, management, and policy*. CRC Press.
- [7,13,16, 20, 25] Hoekstra, AY, Chapagain, AK, Aldaya, MM, Mekonnen, MM (2011). *The water footprint assessment manual*. Setting Glob. Stand. 1, 224.
- [8] Apulianws (<http://www.apulianws.it/analisi-dello-stress-idrico-pugliese/>, last accessed date 20 April 2020).
- [9, 17] **WaterFootprint Platform** (<https://waterfootprint.org/en/water-footprint/what-is-water-footprint/>, last accessed date 12 September 2022).
- [10] **ScienceDirect platform** (2022a) (<https://www.sciencedirect.com/search?q=drought%20mediterranean>, last accessed date 8 September 2022).
- [11] **ScienceDirect platform** (2022b) (<https://www.sciencedirect.com/search?q=water%20footprint%20drought%20mediterranean>, last accessed date 8 September 2022).
- [12, 14] Chapagain, AK, Tickner, D (2012). Water footprint: Help or hindrance? *Water Alternatives* 5(3): 563-581.
- [15] **WaterFootprint data** (<https://waterfootprint.org/en/resources/waterstat/product-water-footprint-statistics/>, last accessed April 29, 2020).
- [18] **ISO, 2014, 2020** (<https://www.iso.org/standard/43263.html>, last accessed date 19 August 2022).
- [19] Arzoumanidis, I, D'Eusanio, M, Raggi, A, Petti, L (2020). *Functional Unit Definition Criteria in Life Cycle Assessment and Social Life Cycle Assessment: A Discussion*. In: Traverso, M., Petti, L., Zamagni, A. (eds) Perspectives on Social LCA. SpringerBriefs in Environmental Science. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01508-4_1.
- [21] Casella, P, De Rosa, L, Salluzzo, A, De Gisi, S (2019). Combining GIS and FAO's crop water productivity model for the estimation of water footprinting in a temporary river catchment, *Sustain. Prod. Consum.*, 17, 254-268, 10.1016/j.spc.2018.11.002.
- [22] **FAO** (2020). Banca Dati Statistica. (<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>, last accessed date 20 April 2020).
- [23] **BURP**, 2020. Disciplinare di produzione integrata anno 2019. Bollettino Ufficiale della Regione Puglia n.32 del 21 Marzo 2019, 333 (<https://www.regione.puglia.it/web/agricoltura/-/discipline-di-produzione-integrata-2020>, last accessed 4 September 2022).
- [24] **European Council** (1991). Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A31991L0676>, last accessed date 17 March 2021).
- [26] Pellegrini, G, Ingraio, C, Camposeo, S, Tricase, C, Contó, F, Huisingsh, D (2015). Application of water footprint to olive growing systems in the Apulia region: a comparative assessment, *Journal of Cleaner Production*, 112 (4), 2407-2418, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.088>.
- [27] **ISTAT** (2020). Istat (<http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=33706>, last accessed date 30 April 2020).
- [28, 31] **Russo, C** (2016). Apulian Water stress (<http://www.apulianws.it>, last accessed date 2 September 2020).
- [29, 30, 32, 33] Crovella, T, Lagioia, G, Paiano, A (2020). *Stato dell'arte del consumo idrico in agricoltura nella regione Puglia per un nuovo modello di Economia Circolare*. In: Green and Circular Economy: ricerca, innovazione e nuove opportunità. A cura di (F. Fava). Atti del Congresso Ecomondo, Rimini, 3-6 November, 2020, pp. 280-287.

Assessing Sustainability in Reusing of a Treated Wastewater for Irrigation

Carlo Russo¹ carlo.russo@unifg.it, Piervito Bianchi², Giulio Mario Cappelletti¹, Alfredo Ernesto Di Noia¹, Luca Grilli¹

¹ Department of Economy, Management and Territory, University of Foggia, Via Da Zara 1, 71121 Foggia Italy

² Department of Economy, University of Foggia, Via Caggese 1, 71121 Foggia Italy

Riassunto

In questo lavoro è stato utilizzato l'indicatore di consumo idrico AWARE (Available WATER Remaining) per valutare la sostenibilità del riutilizzo di acque reflue derivanti da processi agroindustriali, confrontando lo scenario di irrigazione di colture orticole con acque reflue affinate con uno tradizionale in cui vengono adoperate acque di falda emunte da pozzo artesiano. Il caso studio rappresenta un'applicazione emblematica dei principi dell'economia circolare in quanto l'azienda, situata nel sud Italia, gestisce nello stesso luogo l'impianto agroindustriale e l'attività agricola. I risultati evidenziano i vantaggi della riduzione del consumo idrico attraverso la quantificazione dell'impatto evitato legato alla sostituzione dell'acqua di falda con quella affinata. Tuttavia, alcuni aspetti critici come il consumo di elettricità e la distanza tra lo stoccaggio dell'acqua trattata e il raccolto devono essere studiati meglio per valutare nel suo complesso la sostenibilità del sistema.

Summary

In this paper, the water use midpoint indicator AWARE (Available WATER Remaining) was employed to evaluate the sustainability of the reusing of treated wastewater in an agro-industrial process by comparing the scenario of vegetable irrigation using treated wastewater with the traditional one in which groundwater is employed from artesian wells. The case study represents an emblematic case of the circular economy because the Company, located in the south of Italy, manages the agro-industrial facility and the farm in the same place.

Results highlight the advantages of reducing water use from the avoided impact linked to substituting treated water with groundwater. However, some critical aspects such as electricity consumption and distance between treated water storage and crop need to be better investigated to consider the overall system sustainable.

1. Introduction

Management of crop irrigation is a significant issue in facing water scarcity. On average, 70% of the overall water available for human use is employed for irrigation in agriculture [1, 2]. This percentage becomes over 95% in Developing Countries.

Wastewater reusing could be crucial in facing water scarcity [3, 4]. However, some technical and logistic aspects could reduce the real advantages and management and could be well-investigated (basin dimensions, distribution pipelines, monitoring systems, etc.). Furthermore, accepting this solution must exceed the reluctance to consider waste as a resource [5].

The life-cycle approach could lead to the choice of wastewater treatment for irrigation by

considering the environmental and social impact over the technical ones. Furthermore, it is important to face the problem by focusing principally on the water scarcity [6]. The European Union, in the context of the 2020 Circular Economy Action Plan, defines new rules for promoting the reuse of wastewater for irrigation [7]. The regulation on minimum requirements for water reuse for agricultural irrigation was defined in the Water Reuse Regulation and entered into force in June 2020 [8]. The regulation pays particular attention to the water quality requirement and health and environmental risk management. The European Commission has prepared, in consultation with the Member States and stakeholders, guidelines to help apply the Water Reuse Regulation and on the third of August 2022 they were published [9]. Starting from these premises in this paper, the water use midpoint indicator AWARE (Available WAter Remaining) was employed to evaluate the sustainability of the reusing of treated wastewater in an agro-industrial process by comparing the scenario of vegetable irrigation using treated wastewater with the traditional one in which groundwater is employed from an artesian well. The case study represents an emblematic case of the circular economy because the Company, located in the south of Italy, manages the agro-industrial facility and the farm in the same place

2. Materials and Methods

The LCA Methodology was applied with a “gate to gate” approach to determine the environmental performances of an agro-industrial wastewater treatment plant by considering an expanded system in which an agro-food company of using directly own treated wastewater for irrigating vegetables by adopting a closed-loop in the context of the circular economy. The functional unit was 1 m³ of treated water ready for irrigation. The Company generates agro-food wastewater all year. It has a wastewater treatment plant able to treat about 360 m³ day⁻¹ with an annual production of about 80,000 m³ y⁻¹ of treated water which is stored in an artificial basin. It is worth noting that the amount of wastewater is usually generated independently from the need for irrigation linked of crop management. Nevertheless, it could be sufficient to irrigate about 20 ha of vegetables.

Starting from this assumption, the system boundaries were expanded and two scenarios were identified:

- *Scenario A*: 1 m³ of groundwater was withdrawn by an artesian well and 1.27 m³ of wastewater (the amount needed to obtain 1 m³ of treated water for irrigation) was treated (primary, secondary treatment) and spilled into a nearby stream.
- *Scenario B*: 1.27 m³ of wastewater was treated (primary, secondary and tertiary treatment), stored in a tank, and adopted for irrigation after a UV on-demand treatment. The withdrawal of 1 m³ of groundwater was avoided.

For both scenarios input and output referred to all the phases of treatment were included. On the other hand, machineries and capital goods are excluded from the analysis. Figure 1 shows all the phases and the input and output of the system. Figures 1.a and 1.b show respectively the layout and quantities of input and output considered in the scenario A and scenario B.

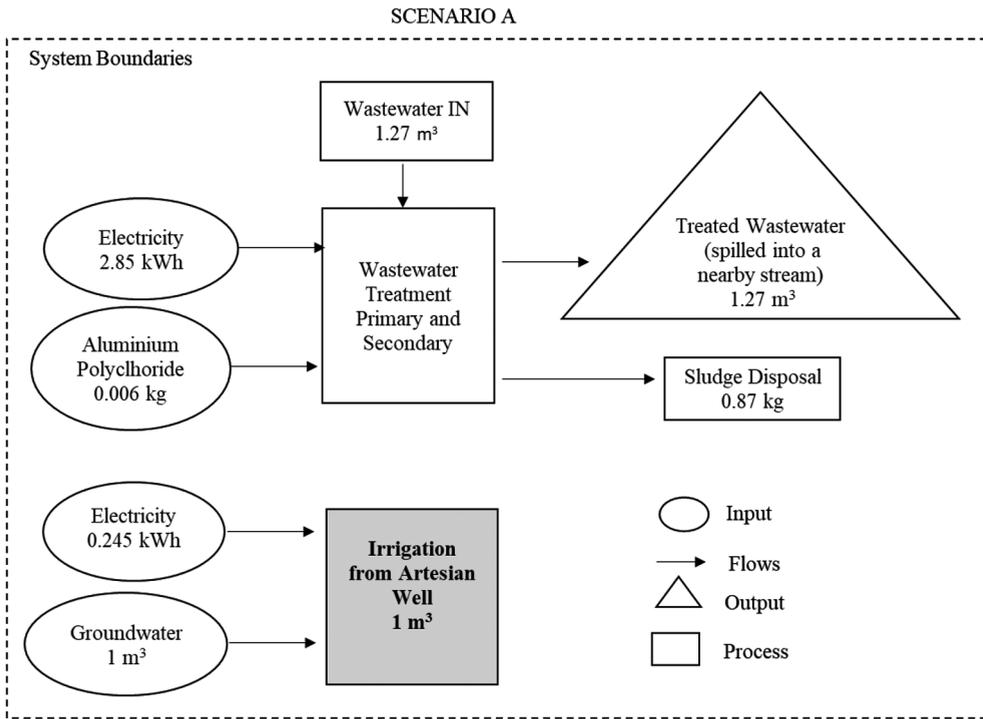


Fig. 1.a. – *Layout of the Scenario A*

SCENARIO B

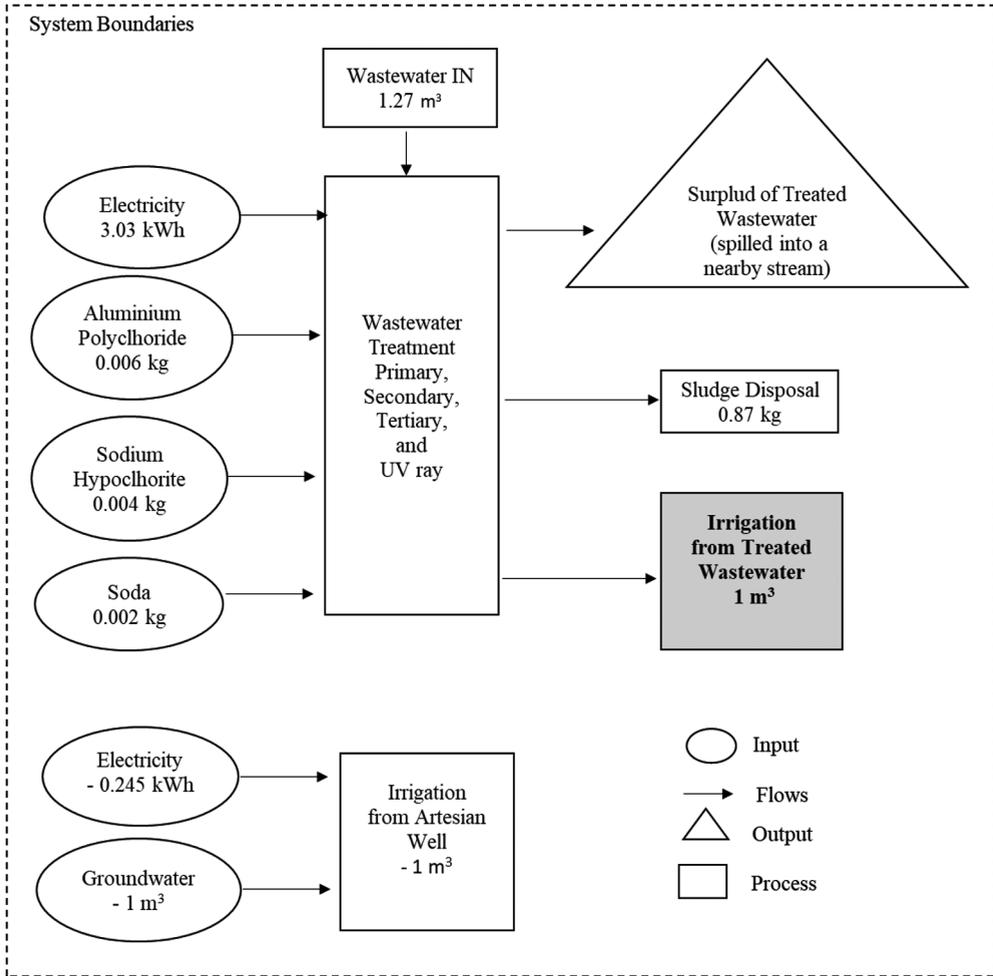


Fig. 1.b. – Layout of the Scenario B

Wastewater plant provides the first step of primary treatment (screening, homogenization, de-oiling), and a secondary one with biological oxidation and denitrification / nitrification treatment.

After flocculation and sedimentation of the sludge generated in the previous phases, a part of this latter is sent back to the denitrification tank and the dehydration and subsequent disposal phase. After this stage (secondary treatment), the treated wastewater has the characteristics required by national law to be discharged into the environment [10]. On the other hand, the company has destined 80% of the wastewater deriving from secondary treatment to tertiary one. This treatment includes a first step of quartz sand filtration and subsequent microfiltration using hollow fibre polymeric membranes. The quartz sand filter undergoes a backwash every eight hours using about 20 m³ of the same ultrafiltered water. In contrast, the membranes undergo backwashing for thirty seconds every half hour of use and a chemical wash every week (using soda and sodium hypochlorite).

After microfiltration, the water is stored in an accumulation tank and, before being used for irrigation, is subjected to a disinfection treatment using an on-demand UV lamp.

Data referring to the plant operation were collected directly from the company (primary data). Electricity consumption, the flow rates of wastewater and treated water, the sludge produced, the duration of backwashing and the consumption of chemical products used in the purification process and in chemical washing were measured. Samples of sludge and wastewater deriving from both secondary and tertiary treatment were analysed. In the same way, the electricity consumption of the pump used for groundwater withdrawal from the artesian well was measured. Concerning the information not available from primary data, estimated, evaluated and in some cases literature data were used, using the databanks implemented in the Gabi software used for modelling the two scenarios [11].

As far as the impact assessment, the “AWARE, high characterization factor for unspecified water,” measured in “m³ world equiv.” was adopted for evaluating water scarcity by considering the high scarcity characterization factor, in consideration of the fact that the analysis is georeferenced in a water-stressed region as the South of Italy. Furthermore, the water use midpoint indicator AWARE (Available WAter Remaining) is a recommended method from WULCA (WULCA, 2016) for assessing the potential of water deprivation per area in a specific watershed after satisfying the demand of humans and aquatic ecosystems. It can be interpreted as a surface-time equivalent to generating unused water in a specific area (Boulay et al., 2016).

3. Results

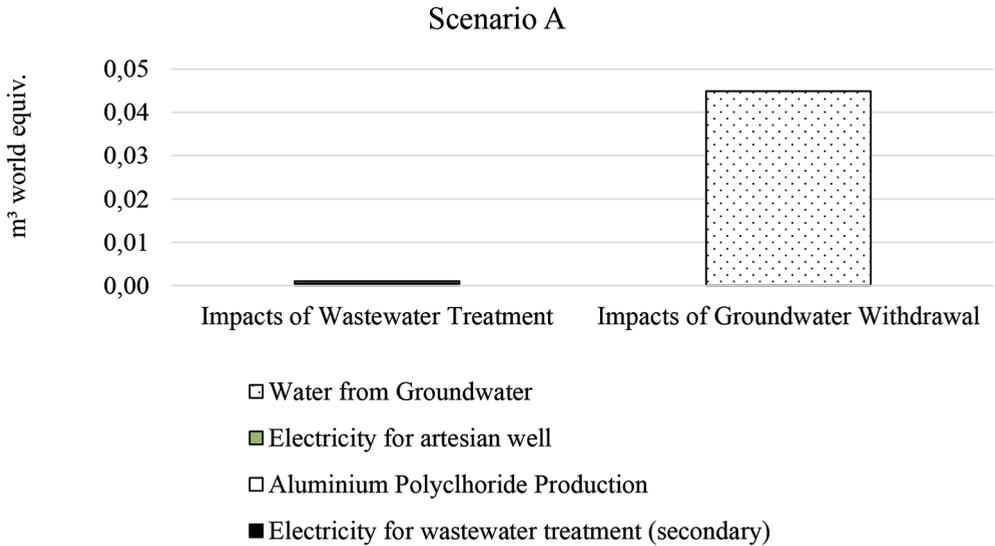


Fig. 2 – AWARE, high characterization factor for unspecified water (m³ world equiv.) Scenario A

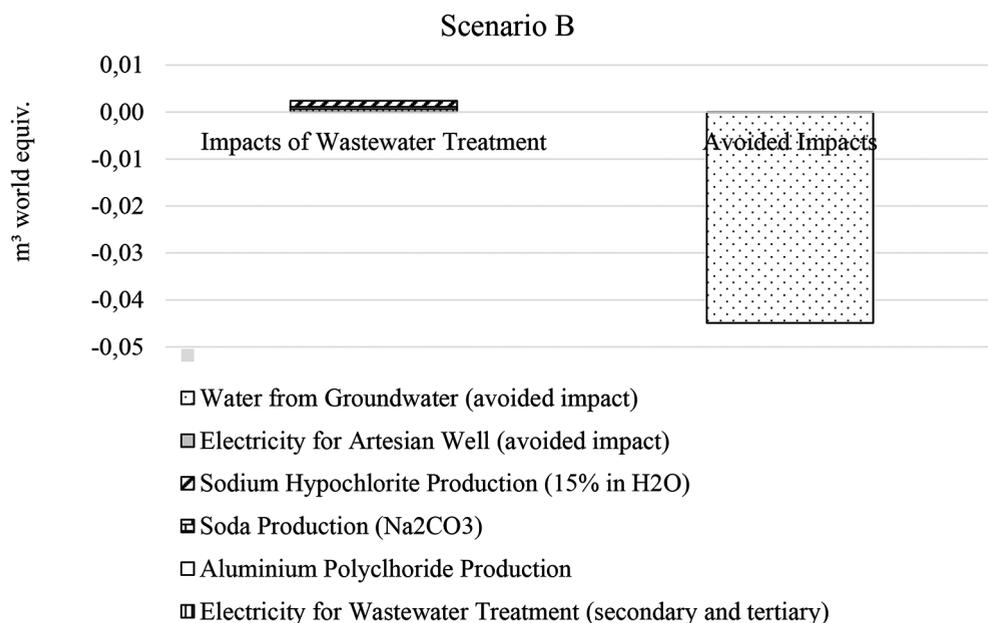


Fig. 3 – AWARE, high characterization factor for unspecified water (m³ world equiv.) Scenario B

Figure 2 shows the AWARE value of scenario A accounted as 0.046 m³ world equiv. This value is obtained as a sum of the impact referred to the secondary wastewater treatment (0.001 m³ world equiv.) and those referred to the groundwater withdrawal (0.045 m³ world equiv.). As shown in figure 2, the contribution of wastewater treatment is residual respect to the withdrawal from an artesian well, representing 98% of the overall indicator. Results shown in figure 2 allow us to understand the environmental advantages of scenario B shown by results in figure 3. Indeed, despite the contribution of wastewater treatment (secondary and tertiary) being relatively higher (0.002 m³ world equiv.) the avoided impact deriving from the lack of groundwater withdrawal allows saving the 0.045 m³ world equiv. (needed to obtaining 1 m³ of water for irrigation) that in this case are subtracted and an overall indicator of - 0.043 m³ world equiv. is obtained.

It is worth noting that this analysis only focuses on a specific water scarcity indicator, and other critical environmental issues, such as electricity consumption or sludge management, are not considered at this stage. Nevertheless, comparing the two scenarios tries to quantify the environmental advantages deriving from wastewater reuse in terms of reducing stress on water resources, especially for the regions characterized by high water scarcity. Results also show that it is essential to dimension and optimize the treatment plant based on the actual need. Indeed, the possibility of guaranteeing treated water for irrigation could play a significant role in ensuring water availability for entire agricultural districts, especially for the areas where long periods of drought, the low quality of groundwater and the lack of public infrastructures for irrigation represent a very critical issue for irrigated-crop.

4. Conclusions

The analysis carried out using the LCA approach with a system expansion on a company scale allows us to evaluate the advantages linked to the recovery of treated wastewater that otherwise everyday spills into the natural environment without any use and with a considerable impact on the local water stress. An exhaustive life cycle impact assessment should be carried out to give a picture of the different environmental impacts and highlight the main critical issue, such as electricity consumption or technical aspects linked to the environmental burden of the wastewater in input. Despite these limits and constraints, a first result allows us to quantify, by adopting a standardized evaluation method promoted by the European Union (the AWARE method), the advantage of wastewater reusing and the realization of a closed-loop carried out in the context of the circular economy. The analysis represents an application of Life Cycle Thinking in a production process. It would be desirable for public policies to consider these aspects and not only the technical or economic ones when water management strategies are defined. Future challenges will probably focus on locating wastewater plants in specific agro-food districts to reuse them directly for irrigation and optimize the agro-food chain “from the cradle to the grave.”

Acknowledgments “Publication realized with the Fund for Research Projects of the University of Foggia - Call PRA year 2019”

References

- [1] **Russo, C., Cappelletti, G.M., and Nicoletti, G.M.** “Water Profile” as Impact Category and Element of life Cycle Impact Assessment. in Current trends in Commodity Science: Selected Aspects of Organization, Product and Process Management. 2017. Poznan, Poland: Poznań University of Economics and Business Faculty of Commodity Science.
- [2] **Russo, C., Cappelletti, G.M., and Nicoletti, G.M.** *Innovative Approaches of Water Scarcity Management in the Apulia Region.* in 20th IGWT Symposium, Commodity Science in a Changing World. 2016. University of Economics, Varna, Bulgaria: Publishing house “Science and economics”.
- [3] **Teodosiu, C., et al.**, *Environmental assessment of municipal wastewater discharges: a comparative study of evaluation methods.* The International Journal of Life Cycle Assessment, 2016. **21**(3): p. 395-411.
- [4] **Manfredi, S.M., Cristina; Sala, Serenella; Saouter, Erwan,** *Improving Sustainability and Circularity of European Food Waste Management with a Life Cycle Approach.* 2015.
- [5] **Schlattmann, A., et al.**, *Ecological Sustainability Assessment of Water Distribution for the Maintenance of Ecosystems, their Services and Biodiversity.* Environ Manage, 2022. **70**(2): p. 329-349.
- [6] **Russo, C., Cappelletti, G.M., and G.M., N.** *Implementing a Predictive Model for Sustainable Water Management: a Case Study in Apulia.* in ECOMONDO 2020: GREEN AND CIRCULAR ECONOMY: RICERCA, INNOVAZIONE E NUOVE OPPORTUNITÀ. 2020. Rimini: Maggioli Editore.
- [7] **European Union**, *Circular Economy Action Plan.* 2020.
- [8] **EU**, *REGULATION (EU) 2020/741 on minimum requirements for water reuse*, E. PARLIAMENT, Editor. 2020.
- [9] **EU**, *Guidelines to support the application of Regulation 2020/741 on minimum requirements for water reuse (including Annexes).* 2022.
- [10] **Italian Parliament**, *Legislative Decree 152/06 “Consolidated Environmental Act”.* 2006.
- [11] **Sphera**, *GaBi Documentation - AWARE and WSI.* 2022.

Contribution of authors

1, References (Russo C.; Grilli L.; Bianchi P.; Cappelletti G.M.,); 2 (Russo C., Cappelletti G. M.); 3 (Russo C.; Cappelletti G.M.); Supervision (Grilli L.; Bianchi P., Di Noia A.E.).

BONIFICA SOSTENIBILE E RIGENERAZIONE DEI SITI INQUINATI

STRATEGIE SOSTENIBILI PER LA BONIFICA DEI SITI INQUINATI: ESEMPI VIRTUOSI E RECENTI EVOLUZIONI DELLA RICERCA APPLICATA NAZIONALE E INTERNAZIONALE

Il convegno sarà più specificamente dedicato alle tecnologie e alle strategie di bonifica, con casi studio che ne mettano in luce l'effettiva portata e i loro limiti. Gli interventi saranno integralmente selezionati dalla Call for Papers. Negli ultimi anni, la ricerca scientifica ha consentito il significativo miglioramento sia nella comprensione della dinamica della contaminazione che nello sviluppo di appropriate tecnologie di caratterizzazione e di bonifica dei siti inquinati. Notevoli sono gli sviluppi nel campo delle tecnologie di bonifica "sostenibili", termine che nel caso delle bonifiche coincide spesso con quello di "efficaci".

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo & Sapienza Università di Roma, UNEM, Legambiente**

Presidenti di sessione:

Marco Petrangeli Papini, Sapienza Università di Roma
Donatella Giacopetti, Unem
Fabio Pascarella, ISPRA

La bonifica di un sito inquinato con l'impiego di idonee soluzioni tecnico operative

*ing. Antonella Lomoro antonella.lomoro@gmail.com Studio di ingegneria per l'Ambiente ing. Antonella Lomoro (Bari)
Gen. B.CC Giuseppe Vadalà, Magg. Aldo Papotto, Ten. Col. Nino Tarantino - Struttura Commissario Unico per la bonifica delle discariche abusive - commissario.bonifiche@governo.it
– Consiglio dei Ministri
ing. arch. Francesco Berardi llpp@comune.sannicandro.bari.it - Comune di Sannicandro di Bari (Bari)*

Riassunto

La bonifica di un sito inquinato deve necessariamente contemplare soluzioni tecnico operative che rispettino le esigenze di natura giuridica, economica, di sostenibilità e di fattibilità.

La presenza di rifiuti speciali non pericolosi con CER 17 09 04 abbandonati sulla superficie di una ex discarica oggetto di intervento di Messa in sicurezza permanente (MISP) per mezzo della tecnica del Capping, dovrebbe essere valutata ai sensi e per gli effetti dell'art. 192 del D.Lgs. 152/2006, e pertanto da qualificare come "abbandono di rifiuti".

La loro rimozione deve essere eseguita dall'amministrazione comunale avvalendosi dell'esecuzione in danno nei confronti dei soggetti responsabili. Nell'impossibilità di accertare ed individuare un responsabile e pertanto di attuare il principio di "chi inquina paga" e tenendo conto delle caratteristiche di una "discarica abusiva e non autorizzata" oggetto di abbandono, si può ritenere opportuno la possibilità di includere la presenza di tali rifiuti nell'ambito delle attività di messa in sicurezza permanente in essere sul sito.

Data la natura dei rifiuti presenti ed in base alle caratteristiche tipologiche e chimico-fisiche dei terreni di copertura, la permanenza in sito non sembrerebbe incidere sulla significatività ma anzi migliora l'efficacia degli interventi di Messa in Sicurezza Permanente. Tale soluzione, idonea ed auspicabile dal punto di vista normativo, renderebbe l'intervento più agevole e coerente con le valutazioni che hanno portato alla scelta tecnica dell'incapsulamento del corpo rifiuti tramite la MISP.

È questo il caso dell'intervento di bonifica e Messa in sicurezza permanente dell'ex discarica comunale in località Pescorosso, ubicata nel Comune di Sannicandro di Bari, oggetto di infrazione comunitaria di cui alla Sentenza della C.G.U.E. causa C-196/13 e di recente espunzione dalla procedura di infrazione europea con il contributo della Struttura del Commissario Unico per la realizzazione degli interventi necessari all'adeguamento alla normativa vigente delle discariche abusive presenti sul territorio nazionale.

Summary

The remediation of a polluted site must necessarily contemplate technical operational solutions that respect legal, economic, sustainability and feasibility requirements.

The presence of special non-hazardous wastes with EER 17 09 04 abandoned on the surface of

a former landfill site subject to Permanent Safety Measures (MISP) by means of the Capping technique, should be assessed respecting Article 192 of Legislative Decree 152/2006.

Their removal must be carried out by the municipal administration charging any costs against the responsible parties. In the impossibility of finding a responsible party and therefore implementing the 'polluter pays' principle, and taking into account the characteristics of an 'illegal and unauthorised dump' subject to abandonment, the possibility of including the presence of such waste within the scope of the permanent safety measures in place on the site may be considered appropriate.

Given the nature of the waste present and on the basis of the typological and chemical-physical characteristics of the covering soils, the permanence on site would not appear to affect the significance but rather improve the effectiveness of the Permanent Safety Measures. This solution, suitable and desirable from a regulatory point of view, would make the intervention easier and consistent with the assessments that led to the technical choice of encapsulating the waste body through MISP.

This is the case of the remediation and permanent safety of the former municipal landfill in the Pescorosso area, located in the Municipality of Sannicandro di Bari, subject to the EU infringement procedure as set out in the judgement of the E.U.C. Case C-196/13 and recently expunged from the EU infringement procedure with the contribution of the Single Commissioner's Structure for the implementation of the necessary measures to bring the illegal landfills in Italy in line with the regulations in force

1. Introduzione

1.1 Inquadramento normativo

Il quadro normativo in materia di bonifica e ripristino ambientale dei siti contaminati è regolamentato dal titolo V della Parte IV del D. Lgs. n. 152 del 2006 [1], ad oggi più volte modificato, che disciplina:

- I criteri per l'individuazione dei siti inquinati;
- L'iter amministrativo e tecnico a cui attenersi per la gestione di un sito potenzialmente inquinato;
- Le responsabilità ai fini della esecuzione delle indagini di caratterizzazione e degli interventi di messa in sicurezza d'emergenza (MISE), di bonifica, di messa in sicurezza permanente (MISP) e/o operativa e di ripristino ambientale;
- I criteri generali per la Caratterizzazione di siti potenzialmente contaminati;
- Le modalità di progettazione ed approvazione degli interventi di bonifica e ripristino ambientale ovvero di messa in sicurezza.

L'art.240 c.1 lett.o) del D.Lgs.152/06, definisce "Messa in Sicurezza Permanente" l'insieme degli interventi atti a isolare in modo definitivo le fonti inquinanti rispetto alle matrici ambientali circostanti e a garantire un elevato e definitivo livello di sicurezza per le persone e per l'ambiente. In tali casi devono essere previsti piani di monitoraggio e controllo e limitazioni d'uso rispetto alle previsioni degli strumenti urbanistici.

L'art.242 c.7 del D.Lgs.152/06 stabilisce inoltre che, "... ai soli fini della realizzazione e dell'esercizio degli impianti e delle attrezzature necessarie all'attuazione del progetto operativo e per il tempo strettamente necessario all'attuazione medesima, l'autorizzazione regionale di cui al presente comma sostituisce a tutti gli effetti le autorizzazioni, le concessioni, i concerti, le intese, i nulla osta, i pareri e gli assensi previsti dalla legislazione vigente compresi, in particolare, quelli relativi alla valutazione di impatto ambientale, ove necessaria, alla gestione delle terre e rocce da scavo all'interno dell'area oggetto dell'intervento ed allo scarico delle acque emunte dalle falde. L'autorizzazione costituisce, altresì, variante urbanistica e comporta dichiarazione di pubblica utilità, di urgenza ed indifferibilità dei lavori".

L'art. 41 comma 3-b) del D.L. n.69/2013, convertito in Legge n.98/2013, come modificato dal Decreto Semplificazione bis (DL 77/2021 [2] come convertito dalla L. 108/2021), fornisce gli elementi per determinare se una matrice è terreno oppure rifiuto in base a cui: “ le matrici materiali di riporto devono essere sottoposte a test di cessione effettuato sui materiali granulari ai sensi dell’articolo 9 del decreto del Ministro dell’ambiente 5 febbraio 1998, pubblicato nel supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale 16 aprile 1998, n. 88, ai fini delle metodiche e dei limiti da utilizzare per escludere rischi di contaminazione delle acque sotterranee e devono inoltre rispettare quanto previsto dalla legislazione vigente in materia di bonifica dei siti contaminati”. Le modifiche intervenute con il Decreto Semplificazione bis, inoltre, prevedono che “...le matrici materiali di riporto che non siano risultate conformi ai limiti del test di cessione siano gestite nell’ambito dei procedimenti di bonifica, al pari dei suoli...”, con conseguente possibilità di applicare l’analisi di rischio ai sensi dell’art. 242 del Codice dell’Ambiente. In sostanza, assimilando le matrici materiali di riporto ai suoli, anche in presenza di superamento dei limiti del DM 05/02/98, viene meno l’obbligo di gestire le matrici come rifiuti, ma consente di gestire le stesse come suoli.

L'art.6 c.1 del D.Lgs.36/2003, come modificato dal D.Lgs.121/2020 [3], in attuazione dei principi prevalenti di fonte comunitaria sanciti dalla Direttiva 850/2018, recita: “È vietato lo smaltimento in discarica dei rifiuti idonei al riciclaggio o al recupero di altro tipo”.

2. Relazione

2.1 Il progetto di bonifica e Messa in sicurezza permanente

Il progetto di “Bonifica e Messa in Sicurezza Permanente (MISP) della ex discarica comunale in località Pescorosso” fa riferimento alle disposizioni sulla “Bonifica di siti contaminati” definite nel Titolo V alla Parte IV del Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006 e succ.mod. e int.

L’area è stata utilizzata come discarica per rifiuti solidi urbani del comune di Sannicandro di Bari per circa 5 anni, dal 1983 al 1988.

I vincoli individuati nell’area sono:

- **PPTR**, in corrispondenza dell’area di intervento sono presenti elementi della Struttura idro-geo-morfologica. In particolare, tra le componenti idrologiche è individuato il Bene paesaggistico “Fiumi, torrenti e corsi d’acqua iscritti negli elenchi delle acque pubbliche” Lama Badessa; per le componenti geomorfologiche, invece, si rileva la presenza, tra gli ulteriori contesti paesaggistici del tematismo “Lame e gravine”.
- **PAI Pericolosità idraulica e rischio geomorfologico**. Il sito è attraversato da un corso d’acqua del reticolo idrografico e da ripe di erosione fluviale. L’area di intervento è interessata dalla presenza di aree ad alta, media e bassa pericolosità idraulica e sono presenti zone con pericolosità geomorfologica molto elevata (PG3) ed elevata (PG2) in corrispondenza della Lama Badessa.

Dopo il preliminare intervento di declassificazione rischio amianto riscontrato nell’area, e conseguentemente ai nuovi disposti normativi che spingono alla riduzione della produzione dei rifiuti e al divieto di smaltire in discarica rifiuti idonei al recupero di altro tipo (D.Lgs 121/2020 in attuazione della Direttiva 850/2018) nonché il D.Lgs 3 settembre 2020, n. 121 “Attuazione della direttiva (UE) 2018/850, che modifica la direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti”, e che sostituisce il D.Lgs 13 gennaio 2003, n. 36, al progetto iniziale è stata apportata una variazione progettuale nell’ottica di un complessivo beneficio ambientale e di sostenibilità dell’intervento stesso.

Gli interventi previsti hanno riguardato:

- rimozione e smaltimento dei rifiuti superficiali all'interno dell'area;
- riutilizzo dei terreni di copertura per modellamento superficiale dell'area e messa in sicurezza canale deviatore;
- copertura del corpo di discarica al fine di impedire il dilavamento dei rifiuti e il loro affioramento in superficie (capping);
- opere di contenimento in ingegneria naturalistica (terra armata);
- opere di gestione delle acque meteoriche;
- opere di ricostruzioni soprasuolo (opere a verde, piantumazioni, illuminazione e video sorveglianza);
- protezione dell'area, tutela e monitoraggio (gabbionate metalliche, rete paramassi).

I rifiuti da demolizione e costruzione non pericolosi abbandonati nell'area e le terre e rocce da scavo sono state riutilizzate per la risagomatura del corpo discarica prima della realizzazione del capping superficiale.

Gli interventi sono stati progettati con lo scopo di rimuovere la fonte di contaminazione che insiste sul canale deviatore di Lama Badessa e attraverso una adeguata profilatura consentire in sicurezza le operazioni di copertura del resto del corpo rifiuti, la cui rimozione non è compatibile rispetto ad una analisi costi benefici effettuata in fase preliminare.

In questo modo è stato possibile isolare la fonte di contaminazione presente e nel contempo riqualificare l'area restituendole una identità naturale persa nel corso degli anni.

Il terreno presente nell'area è stato riutilizzato per la risagomatura superficiale del corpo discarica prima della realizzazione del capping, in quanto questa attività non incide sugli obiettivi di MISP definiti con l'approvazione del relativo progetto. Inoltre il mancato riutilizzo avrebbe reso necessario il loro allontanamento e conferimento ad impianto di recupero o smaltimento, con ulteriori aggravio di costi su finanziamento pubblico.

La riprofilatura della parte sommitale del corpo discarica relativo al materiale di copertura già presente è stato eseguito dopo la rimozione e la pulizia dei rifiuti superficiali sparsi al suolo presenti nell'area che sono stati smaltiti presso impianti esterni autorizzati.

Per la modellazione superficiale finale dell'area è stato movimentato un volume pari a circa 3.500 mc come rappresentato nella figura 1 e figura 2 al fine di consentire le idonee pendenze per il deflusso delle acque superficiali.

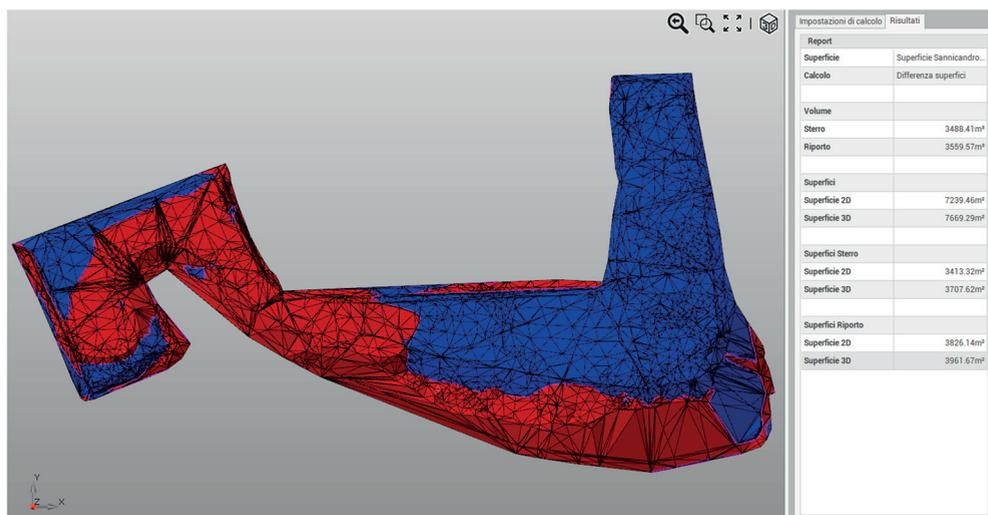


Fig. 1 – Planimetria degli sterri e riporti della configurazione finale – Fonte SERVECO Srl



Fig. 2 – Rilievo con drone in fase di modellazione superficiale dell'area (fonte geol. Leonardo Acquaro)

Sulla nuova morfologia finale (Figura 3) sono stati realizzati i successivi interventi di copertura e contenimento (figura 4).

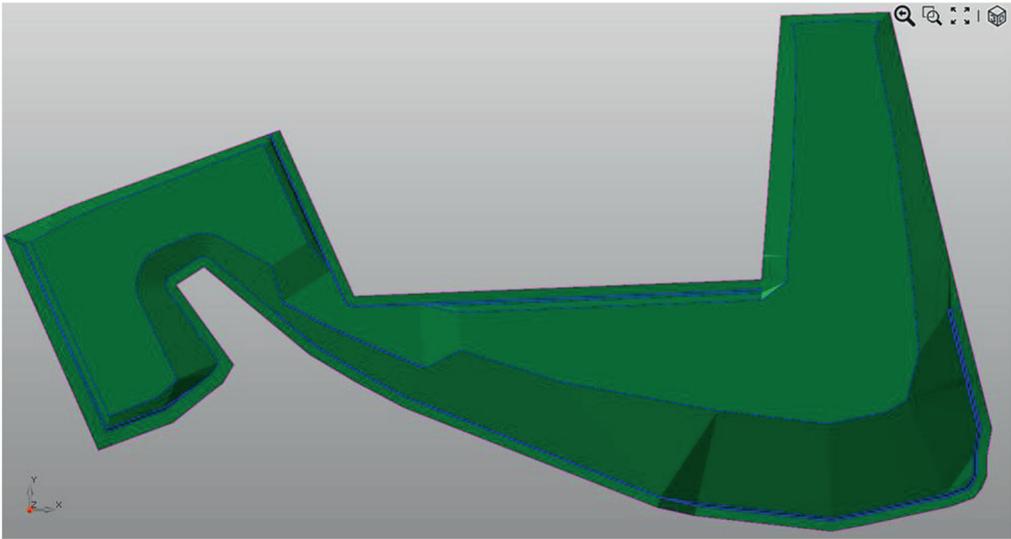


Fig. 3 – *Morfologia finale dell'area*



Fig. 4 – *Avvio della fase di copertura dell'ex discarica dopo modellazione superficiale (impresa esecutrice Fedele Di Donato srl)*

3. Conclusioni

La permanenza in situ del terreno di copertura o di rifiuti da D&C se compatibili in base alle caratteristiche chimico-fisiche con la norma di settore, migliora l'efficacia degli interventi di Messa in Sicurezza Permanente (MISP) incidendo significativamente sull'efficacia dell'intervento.

Tale scelta, idonea dal punto di vista normativo, rende l'intervento di MISP più agevole e coerente con le valutazioni che hanno portato alla scelta tecnica dell'incapsulamento del corpo rifiuti.

I principali benefici ambientali e di sostenibilità dell'intervento possono così sintetizzarsi:

- Riduzione dell'apporto di materie prime vergini e/o recupero per la realizzazione dello strato di regolarizzazione;
- Favorire il recupero diretto dei materiali presenti in sito, nel rispetto dei principi di economia circolare;
- Riduce l'apporto di volumetrie presso discariche di rifiuti inerti;
- Alleggerire il carico sugli impianti terzi di discarica e i relativi costi di conferimento;
- Riduce le emissioni dovute al trasporto dei rifiuti verso altri siti di gestione o di approvvigionamento di materiale, con conseguente risparmio di carburante;
- Migliorare il pacchetto di copertura in termini prestazionali;
- Riduce i tempi di esecuzione dell'intervento.

Bibliografia

[1] Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" (G.U. n. 88 del 14 aprile 2006)

[2] Decreto Legge 31 maggio 2021, n. 77 "Governance del Piano nazionale di rilancio e resilienza e prime misure di rafforzamento delle strutture amministrative e di accelerazione e snellimento delle procedure"

[3] D.Lgs 3 settembre 2020, n. 121 "Attuazione della direttiva (UE) 2018/850, che modifica la direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti"

BIOECONOMIA: IL SETTORE FORESTA LEGNO

NUOVE FRONTIERE PER LE FILIERE FORESTALI: POLICY E GOVERNANCE PER DARE VALORE AD UNA RISORSA STRATEGICA PER IL NOSTRO PAESE

L'ultimo anno ha visto la pubblicazione della strategia forestale europea ed immediatamente dopo di quella nazionale evidenziando come il contesto politico sia sempre più attento alla valorizzazione delle risorse boschive, delle produzioni legnose e delle ricadute del comparto in ambito climatico, economico e sociale. I

rapidi mutamenti del quadro geopolitico internazionale stanno delineando nuovi scenari economici e maggiori possibilità di sviluppo per il settore forestale che torna ad essere centrale nelle strategie di autoapprovvigionamento di materie

prime dei singoli Paesi. In particolare, gli effetti delle tensioni internazionali e le dinamiche innescate dalla pandemia sui mercati internazionali delle materie prime e dei prodotti energetici, impongono di incrementare la produzione di materiali legnosi, secondo modelli di bioeconomia circolare e sostenibile, per fornire adeguate risposte ai diversi settori industriali, da quelli più tradizionali (imballaggi, arredo, carta, ecc.) a quelli più innovativi (edilizia, tessile, energia, bioraffinerie, ecc.) fortemente orientati a risorse rinnovabili e locali. In quest'ambito lo sviluppo di una vera e propria bioeconomia forestale può essere il perno per avviare la costituzione di filiere competitive, coese ed innovative che producano al contempo prodotti rinnovabili e benefici ecologici, capaci di garantire la permanenza nelle aree rurali e montane, nonché servizi ecosistemici di grande pregio per gli abitanti delle città.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo & Confagricoltura, Università degli Studi della Tuscia, Università degli Studi del Molise**

Presidenti di sessione:

Marco Marchetti, Università degli Studi del Molise

Enrico Allasia, Presidente FNP risorse boschive e coltivazioni legnose Confagricoltura

Foreste metropolitane: strumenti e progetti sviluppati dalla Città metropolitana di Bologna

*Valeria Stacchini, valeria.stacchini@cittametropolitana.bo.it
Città metropolitana di Bologna*

Riassunto

Gli attuali cambiamenti climatici hanno portato all'attenzione pubblica la necessità, soprattutto nei centri urbani, di promuovere politiche finalizzate a migliorare clima e qualità dell'aria, per il benessere dei cittadini, valorizzando ed ampliando la vegetazione in città. I progetti europei Veg-Gap e Connecting Nature, di cui Città metropolitana di Bologna è stata partner, hanno proposto soluzioni concrete in questa direzione. Il progetto Veg-Gap ha creato una piattaforma informatica per elaborare dati sull'impatto della vegetazione urbana su meteorologia e qualità dell'aria, sperimentandola in tre città pilota tra cui Bologna. Il progetto Connecting Nature, ha lanciato la piattaforma "Connecting Nature Enterprise" per affrontare i gap dei potenziali benefici economici delle nature-based solutions e per promuovere le imprese che forniscono tali soluzioni, attraverso un approccio basato sulla natura che rispetta le esigenze dell'ambiente e delle comunità.

Summary

The current climate changes have brought to public attention the need, especially in urban centers, to promote policies aimed at improving climate and air quality, for the well-being of citizens, enhancing and expanding the vegetation in the city. The European projects Veg-Gap and Connecting Nature, of which metropolitan City of Bologna was a partner, have proposed concrete solutions in this direction. The Life Veg-Gap project has created an IT platform to process data on the impact of the urban vegetation on meteorology and air quality, testing it in three pilot cities including Bologna. The project Connecting Nature, has launched the platform "Connecting Nature Enterprise" to address the gaps of the potential economic benefits of nature-based solutions and to promote the companies that provide such solutions, through a nature-based approach that respects the needs of the environment and of the communities.

1. Introduzione

Il clima sta cambiando e si percepisce soprattutto in città, dove risiede la maggior parte della popolazione. Oggi oltre il 70% delle emissioni nocive per il nostro pianeta proviene dalle città ed entro il 2050 oltre 6 miliardi di persone nel mondo vivranno nelle aree urbane. Le città sono quindi degli hot-spot causa dei cambiamenti climatici, e la prima vittima dei loro effetti. Ondate di calore e inquinamento atmosferico sono alcuni degli effetti indesiderati. Le aree urbane però presentano anche grandi opportunità per azioni di adattamento e mitigazione.

In questo scenario, le città sono chiamate a svolgere un ruolo fondamentale, progettando e aggiornando le loro politiche di sviluppo con la massima attenzione alla salute dei cittadini e alla natura.

Per costruire contesti urbani più resilienti è utile adottare “soluzioni basate sulla natura”. Fra queste, importanti sono le foreste urbane: polmoni che danno respiro, fornendo fondamentali servizi eco-sistemici, come la mitigazione delle temperature, il miglioramento della qualità dell’aria, la fornitura di benessere psicofisico, e molti altri ancora. Secondo Stefano Mancuso contro il riscaldamento globale non esiste una tecnologia più efficiente ed economica degli alberi, ne servono 1000 miliardi entro il 2030 [1]. Ma non tutte le piante sono uguali ed egualmente efficaci. Le foreste urbane sono fabbriche di complessi processi bio-fisici, e al tempo stesso luogo di dinamiche socio-politiche ed economiche multi-scalari [2]. Le città hanno la responsabilità, ma anche la capacità culturale, e il potere politico ed economico per guidare la ricerca di soluzioni. Risolvere problemi complessi con soluzioni innovative non è facile e, proprio come un esploratore che intraprende un nuovo viaggio occorre partire preparati con l’equipaggiamento giusto.

Gli obiettivi al 2030 e al 2050 per il clima, fissati dalle nuove politiche internazionali [3] ed europee, [4] rischiano di rimanere tali se non si interviene senza ulteriori procrastinazioni. Le azioni dovranno coinvolgere tutti i livelli di governo e settori, ma proprio per la loro urgenza, potrebbero trovare negli attori locali degli efficaci apripista e facilitatori [5,6].

La città metropolitana di Bologna sta cercando di fare la sua parte mettendo in campo azioni diverse, per affrontare il cambiamento in modo integrato e assicurare uno sviluppo quanto più sostenibile e resiliente possibile.

Grazie ad alcuni progetti europei, è stato inoltre possibile studiare determinati aspetti, ancora poco conosciuti, e mettere in campo strumenti di supporto alla pianificazione e alle decisioni.

2. Strumenti e progetti sviluppati dalla Città metropolitana di Bologna

Due progetti europei recentemente conclusi, di cui Città metropolitana di Bologna è stata partner, hanno affrontato i temi dell’importanza della vegetazione per clima e qualità dell’aria, delle nature based solutions e proposto soluzioni e strumenti.

Il progetto Life Veg-gap ha approfondito gli impatti della vegetazione sulla qualità dell’aria, e approntato strumenti di supporto alla progettazione di piani di qualità dell’aria. Attraverso la piattaforma “Connecting Nature Enterprise” si è invece provato ad affrontare i gap dei potenziali benefici economici delle nature-based solutions e a promuovere le imprese che forniscono tali soluzioni, generando nuovi posti di lavoro e competenze, innovazioni e impatti economici più ampi, attraverso un approccio basato sulla natura che rispetta le esigenze dell’ambiente e delle comunità, facilitando così un’economia positiva.

2.1 Veg-gap: un progetto Life per migliorare clima e qualità dell’aria in città grazie al contributo degli alberi

Le autorità locali spesso non hanno le informazioni e gli strumenti decisionali necessari per scegliere la quantità di vegetazione da mettere a dimora e le aree più opportune per la piantumazione, nonché la tipologia di specie da utilizzare al fine di mantenere o migliorare la qualità dell’aria e aumentare la resilienza ai cambiamenti climatici.

Il progetto VEG-GAP, finanziato dal sotto programma Life per l’ambiente, nasce dalla consapevolezza che l’utilizzo appropriato di una risorsa naturale come la vegetazione può migliorare la qualità della vita in città nei suoi molteplici aspetti sociali, economici e culturali, a partire proprio dal miglioramento della qualità dell’aria e del comfort termico, elementi fondamentali della salute e del benessere dei cittadini.

I cinque partner scientifici e le aree metropolitane coinvolte, hanno cercato di rispondere, ad alcune domande:

- nel mantenere sotto controllo l’aumento della temperatura e nel ripulire l’aria che respiriamo un ruolo cruciale è svolto dal verde urbano, ma fino a che punto incide?

- quali specie sono più adatte da piantare nelle aree urbane?
- quanta deve essere la vegetazione in città e dove dovrebbe essere posizionata per avere i maggiori benefici?

Grazie alle attività realizzate, modelli scientifici sono stati trasformati in strumenti operativi che possono essere utilizzati dalle autorità locali per pianificare e monitorare le loro politiche ambientali in modo più efficace.

Il progetto VEG-GAP ha studiato le interazioni degli ecosistemi vegetali con l'atmosfera urbana in tre città pilota: Bologna, Madrid e Milano; le tre città sono diverse per ubicazione, abitanti, configurazione spaziale e climatica, ma condividono la necessità di affrontare i problemi legati all'inquinamento e ai cambiamenti climatici.

È stata creata una piattaforma web multiuso (<https://veggaplatform.enea.it/>) per elaborare dati su verde, meteorologia e qualità dell'aria nelle tre città pilota che può essere estesa per includere più città e dati. La piattaforma utilizza outputs e inputs elaborati attraverso i Sistemi di Modellistica Atmosferica, e permette una collaborazione tra gli utenti finali (che possono interagire con l'analisi dei dati), le città (facilitando la condivisione delle conoscenze sulle soluzioni ambientali di successo per la qualità dell'aria) e i cittadini (mostrando loro gli effetti degli interventi verdi). L'approccio utilizzato quantifica simultaneamente il contributo degli ecosistemi di vegetazione nelle aree urbane che possono essere fonte di inquinanti atmosferici ma anche elementi capaci di assorbirli. Inoltre è stato valutato l'effetto della vegetazione urbana sulla temperatura dell'aria e il suo impatto sulla qualità dell'aria, per gli inquinanti più rilevanti per la salute umana e della vegetazione: PM10, NO₂, e O₃. I dati elaborati disponibili sulla piattaforma informativa possono mostrare come cambia la temperatura, come cambiano le concentrazioni degli inquinanti, quanto inquinamento è stato eliminato e quanti composti organici volatili biogenici sono stati emessi. La novità dell'approccio consiste nell'integrazione di diverse informazioni su scale diverse (dai dati satellitari alle mappe dettagliate sulla vegetazione, fino alla singola specie e alle sue dimensioni), nell'adottare una prospettiva sull'intera area urbana, considerando altre possibili influenze regionali e nel rendere possibili valutazioni degli scenari futuri in termini di rischi e benefici per la salute umana e per la vegetazione stessa [7]. La piattaforma può essere utilizzata sia da utenti non tecnici come i cittadini (versione Base), per mostrare gli effetti degli interventi verdi, sia da operatori con competenze tecniche (versione Avanzata) [8].

La metodologia e gli strumenti messi a punto sono il risultato di un intenso lavoro di co-progettazione, svolto dai partner scientifici di VEG-GAP (ENEA, ARIANET srl, UPM, CREA), unito al contributo pratico delle tre città pilota (Bologna, Madrid e Milano) e il supporto tecnico per la piattaforma informativa da parte di MEEO srl. Oltre alla co-progettazione interna al consorzio, molto arricchente e intenso è stato lo scambio e il dialogo con esperti del settore- attraverso il networking e il comitato consultivo - nonché l'impegno degli attori locali che hanno partecipato periodicamente a workshop ed incontri, stimolando la ricerca di risultati che potessero rispondere a bisogni dei territori. Il progetto inoltre ha incoraggiato le tre città coinvolte a sviluppare piani e azioni finalizzate al miglioramento della qualità dell'aria e di contrasto ai cambiamenti climatici, e a coltivare alleanze più forti con altri attori. I risultati ottenuti mostrano che la temperatura urbana e i livelli di inquinamento dell'aria non sono influenzati allo stesso modo dalla vegetazione in tutta la città, ma variano in base alle diverse combinazioni di vegetazione, alla morfologia urbana e al cocktail di emissioni emessi dall'attività antropica; pertanto, le valutazioni dell'impatto dell'inquinamento sulla salute dell'uomo, della vegetazione e sulla biodiversità, dovrebbero considerare questo aspetto, insieme alla sua variabilità nel tempo, per evitare effetti negativi indesiderati [9].

Gli strumenti e la metodologia sviluppati possono essere utilizzati dai decisori politici per compiere scelte informate e identificare le soluzioni di pianificazione più efficaci; qualsiasi cit-

tà può applicarli in supporto allo sviluppo di strategie e piani per il contrasto ai cambiamenti climatici e all'inquinamento atmosferico.

VEG-GAP contribuisce fattivamente al raggiungimento degli obiettivi di Sviluppo Sostenibile, in particolare al SDG11 "Città e comunità sostenibili". La Città metropolitana di Bologna ha incluso le attività del progetto VEG-GAP nella propria Agenda 2.0 per lo sviluppo sostenibile nel sotto obiettivo 11.6 relativo alla qualità dell'aria, mentre il progetto Connecting Nature, presentato nel paragrafo seguente, contribuisce al sotto obiettivo 11.7 "Verde Urbano.

2.2 Connecting nature-based Enterprises: comunità per facilitare la diffusione di nature based solutions

Le Nature-based solutions non solo rispondono al disaccoppiamento tra crescita economica e impatti ambientali [10,11], ma entrano pienamente nell'economia nature positive richiesta recentemente dai leader del G7: un'economia che va oltre allo spreco zero, e che si mette a servizio sia delle persone che del pianeta [12]. Questo rappresenta un cambio di paradigma, e necessita un sovvertimento delle regole del gioco, e l'abbandono di un'economia basata sul perseguimento della produzione e di consumi indefiniti, responsabili del clima e dell'ecosistema, ma anche nel modo in cui nazioni, imprese, investitori e consumatori vedono la natura, andando oltre alla riduzione al minimo del danno, per contribuire fattivamente al miglioramento degli ecosistemi.

Attraverso il progetto Connecting Nature, finanziato dal programma Horizon 2020, si è cercato di colmare alcune lacune nella conoscenza dei potenziali benefici economici delle nature-based solution (NBS) e delle sfide che le imprese e gli operatori pubblici e privati devono affrontare. È stato portato avanti un lavoro di ricerca [13,14,15] e riflessione, approfondendo casi studio, avviando esperienze di peer-learning e creando comunità di interesse. Sono stati sviluppati diversi strumenti di supporto, fra i quali di particolare interesse è la piattaforma "Connecting Nature Enterprise" (CNEP - <https://www.naturebasedenterprise.eu/>) creata per fornire agli operatori delle soluzioni basate sulla natura una vetrina e soprattutto uno spazio per lo scambio di informazioni su ostacoli e sfide, per la condivisione di buone pratiche e soprattutto per il networking, in modo da unire le forze e dare impulso a questa nuova economia e sviluppare nuove opportunità di business [16]. La piattaforma, lanciata ad ottobre 2020, connette oltre duemila operatori del settore NBS. La piattaforma è nata come risposta diretta all'esigenza di risolvere un'importante barriera evidenziata dalle città e da chi si trova a realizzare NBS, ovvero la difficoltà nel reperire fornitori qualificati. Sviluppata come un mercato per mettere in contatto acquirenti e fornitori di NBS, il suo cuore è costituito da dieci comunità di pratiche, animate dai rispettivi ambasciatori, che sono innovatori nei diversi settori. Un altro obiettivo è quello di condividere conoscenze e risultati, e costruire insieme innovazioni, grazie anche al dialogo e confronto fra operatori, ricercatori, settore pubblico, decisori politici, e terzo settore. Il confronto avviene principalmente attraverso l'organizzazione di workshop online.

Una delle dieci comunità è dedicata in modo specifico alla forestazione sostenibile e ai biomateriali, ed è attualmente animata da Etifor, spinoff dell'Università di Padova, che ha anche curato l'approfondimento sul settore incluso nell'Expert Report [17] (Positive Economy) da cui emerge sia il potenziale delle NBS: al 2020 solo un 15% delle imprese implementa NBS (sondaggio sulle foreste condotto da CDP nel 2020), e queste aziende dipendono generalmente dai servizi eco-sistemici delle foreste e si impegnano nella conservazione di esse, nella riforestazione e nel ripristino degli habitat. Durante le attività della comunità, è emerso come le NBE che operano nella forestazione sostenibile, sono più ampie rispetto alle aziende forestali tradizionali (tipicamente industria cartaria, industria del legno, silvicoltura che nel 2015 occupava in Europa 2,6 milioni di addetti). Molte NBE sono attive nella gestione delle foreste

e nella silvicoltura urbana, occupandosi principalmente di pianificazione forestale, inventario forestale, iniziative di piantumazione di alberi, servizi di Data Science (ad esempio, AI, IoT) e di mappatura geo-spaziale per migliorare la gestione delle foreste. Tuttavia, vi è anche una sovrapposizione con attività in altri settori, in particolare: agroforestale, turismo forestale e assistenza forestale in relazione anche al tema salute e benessere. Le principali barriere riguardano la mancanza di consapevolezza, in particolare fra i decisori politici, e di dati, la difficoltà a fare networking con altri settori e l'assenza di adeguati finanziamenti, sia pubblici che privati. È inoltre emerso, qui come in altri settori, quanto la misurazione dell'impatto e dei benefici, ostacoli il processo decisionale. D'altra parte, sono stati individuati come fattori abilitanti l'accesso a strumenti di finanziamento, sia per sperimentazioni che come sovvenzioni e sussidi. Altri fattori che possono contribuire a spingere la diffusione delle NBS nel settore riguardano la condivisione di conoscenze e dati, trasversalmente fra i diversi attori. Molto importanti risultano inoltre la spinta all'innovazione e la sperimentazione nel settore pubblico.

Va comunque rilevato come in questo settore delle NBS (come anche in altri, quali edifici verdi, spazi urbani, agricoltura, turismo, salute e benessere) sia rilevante il ruolo delle attività economiche [18]. D'altra parte è fondamentale anche la parte che gli operatori non strettamente privati, come il terzo settore e il pubblico, possono svolgere nel dare slancio alle NBS, anche nel settore della forestazione sostenibile, in particolare in questa fase di lancio. Come città metropolitana di Bologna, abbiamo animato la comunità che raccoglie questo tipo di organizzazioni, e si segnalano in particolare due temi di approfondimento discussi durante alcuni workshop. Il primo è quello degli acquisti pubblici [19]: questo prima webinar aveva raccolto particolare interesse, a riprova della centralità e dell'attualità del tema discusso. Dagli interventi e dalla discussione delle stanze di lavoro è emerso quando sia importante colmare il gap di conoscenze e di esperienza e come sia necessario incardinare le NBS nelle priorità politiche e fare leva sul sistema degli acquisti pubblici per supportarne la diffusione, coinvolgendo in modo trasversale i vari dipartimenti interessati e allo stesso tempo rinforzare la disponibilità di dati e indicatori, così da abbassare il rischio percepito verso l'acquisto delle NBS. Al momento i processi di acquisto non riescono a cogliere pienamente l'opportunità offerta dalle NBS: questi dovrebbero infatti spostarsi dalla ricerca della migliore offerta, a quello della migliore soluzione, così come valorizzare non tanto il prodotto quanto il servizio, per ricomprendere il valore aggiunto di processi di co-creazione e anche di gestione. Trovare fornitori competenti e aggiornati anche a livello locale, è di grande importanza, in particolare per la fase di gestione e manutenzione. Si evidenzia inoltre come non ci si possa affidare a soluzioni pronte, ma come le soluzioni migliori siano quelle pensate per il contesto e i bisogni specifici. Per raggiungere questi cambiamenti, è fondamentale sia sostenere investimenti apripista, sia formare ed aggiornare da un lato il personale e dall'altro il mercato. È inoltre raccomandabile avviare nuove forme di acquisti che promuovano l'innovazione (innovation procurement), stimolando così il mercato.

Altro tema rilevante sia per la piattaforma che per il progetto Connecting Nature, è quello del coinvolgimento della comunità e della co-produzione, tema che è stato al centro del dibattito dell'ultimo workshop svoltosi a maggio di quest'anno [20]. In questa occasione è stato evidenziato come co-produzione significhi fare insieme, e come questo tipo di approccio aiuti a rompere silos in modo propositivo. La co-progettazione per essere efficace dovrebbe essere adattativa, riflessiva, mobilitare attori e saperi diversi. Sei sono i principi di riferimento: attivare processi inclusi, aperti e legittimi, mirando a risultati raggiungibili, responsabili e allineati. Avviare processi di co-produzione aperti sia internamente (cooperazione fra diverse unità e istituzioni) che esternamente (cooperazione fra livelli e attori diversi, incoraggiando anche la partecipazione dei cittadini), permette di raggiungere migliori risultati. I problemi complessi richiedono una prospettiva integrata per ottenere risultati positivi. La co-produzione e la

co-progettazione come modalità di lavoro dovrebbero accompagnare il progetto per tutta la sua durata.

3. Conclusioni

La mancata adozione di pratiche e investimenti sostenibili, mette a rischio il nostro pianeta, imprese ed economie. Secondo il Forum Economico Mondiale, nel libro bianco presentato a febbraio 2022, il rischio immediato è associato a più di metà del PIL mondiale [21]. Nello stesso libro bianco sono analizzati il panorama degli investimenti per la natura e le NBS, sia stimolando il settore privato a scalare questo tipo di investimento, sia rivolgendosi ai decisori politici, per creare le condizioni affinché sia possibile creare un ritorno finanziario positivo, contabilizzando i servizi eco-sistemici.

I risultati emersi nell'ambito dei progetti VEG-GAP e Connecting Nature, confermano che piantare alberi è indubbiamente importante e può portare un contributo, ma certamente da solo non può risolvere la crisi climatica: saranno necessarie profonde trasformazioni in tutti i settori, e dovremo cambiare molte abitudini radicate nella produzione, nel consumo e negli spostamenti. Il cambiamento climatico, e più in generale lo sviluppo sostenibile (quest'anno ricorrono i trenta anni dall'incontro di Rio De Janeiro in cui è stata presentata al mondo la definizione di questo concetto), affronta problemi complessi che richiedono soluzioni multiple e non escludenti [22].

Bibliografia

- [1] **Stefano Mancuso**, intervista rilasciata ad Avvenire, Ottobre 2021.
- [2] **Sandberg, L.A., Bardekjian, A., & Butt, S** (eds.), *Urban Forests, Trees, and Greenspace: A Political Ecology Perspective* (1st ed.). Routledge, 2014 <https://doi.org/10.4324/9781315882901>
- [3] Accordo di Parigi <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- [4] Green New Deal https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en e Strategia a lungo termine per il 2050 https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_it
- [5] **Santolini R.**, *Servizi ecosistemici e sostenibilità*, *Ecoscienza* No. 3, 20-23, 2010
- [6] **Santolini R., Morri E.**, *Criteri ecologici per l'introduzione di sistemi di valutazione e remunerazione dei Servizi Ecosistemici (SE) nella progettazione e pianificazione*. In: *La dimensione europea del consumo di suolo e le politiche nazionali*, CRCS Rapporto 2017. INU ed. Roma, 149-154, 2017
- [7] Veg-gap Layman's report, 2022
- [8] **Stacchini V., Mircea M.**, *Valutare in modo integrato l'impatto del verde urbano presente e futuro sull'aria in città: la piattaforma del progetto Life Pre VEG-GAP*. In: *Ecomondo. The Green Technology Expo*. Maggioli, Santarcangelo di Romagna, 337-344, 2021
- [9] **Stacchini V.** (ed.), *Vegetation for urban green air quality plans. A new approach from the VEG-GAP project*. Bologna University Press, 2022
- [10] **Aden N.**, *The Roads to Decoupling: 21 Countries Are Reducing Carbon Emissions While Growing GDP*. World Resources Institute, 2016
- [11] **European Environmental Bureau - EEB**, *Decoupling debunked – Evidence and arguments against green growth as a sole strategy for sustainability*, 2019
- [12] **Locke H., Rockström J., Bakker P., Bapna M., Gough M., Hilty J., Lambertini M., Morris J., Polman P., Rodriguez C.M., Samper C., Sanjayan M., Zabey E., Zurita P.**, *A Nature positive world: the Global Goal for Nature*, 2021 <https://www.wbcsd.org/download/file/11960>
- [13] Connecting Nature Guidebooks serie <https://connectingnature.eu/guidebooks>
- [14] **Cavallo M., Ferraro S.**, *Verso un'economia più verde e sostenibile grazie alle nature-based solutions*, *Reticula* n.28/2021 p.84-94, 2021
- [15] **Cavallo M., Ferraro S.**, *Nature-based solutions for smarter cities. Bringing cities to life, bringing life into cities*, *Revue Internationale des Gouvernements Ouverts*. Vol. 9, 93-103, 2020

- [16] **Stacchini, V.**, *Ri-connettere le città con la natura ai tempi del Covid*. In: Ecomondo. The Green Technology Expo. Maggioli, Santarcangelo di Romagna, 430-436, 2020
- [17] **European Commission, Directorate-General for Research and Innovation**, *The vital role of nature-based solutions in a nature positive economy*, Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/307761>
- [18] **Kooijman Esmee D., McQuaid S., Rhodes M-L., Collier M.J., Pilla F.**, *Innovating with Nature: From Nature-Based Solutions to Nature-Based Enterprises*, Sustainability 2021, 13, 1263, 2021
- [19] CNEP 2021, Public procurement - stimulating or stifling nature-based innovation? 5 Takeaways & Recommendations
- [20] CNEP 2022, Why are organisations adopting co-production methods? 5 key Takeaways, Tools and good practices
- [21] WEF 2022. *Scaling Investments in Nature. The Next Critical Frontier for Private Sector Leadership*. White Paper, February 2022 https://www3.weforum.org/docs/WEF_Scaling_Investments_in_Nature_2022.pdf
- [22] **Franz G.**, *L'umanità a un bivio. Il dilemma della sostenibilità a trent'anni da Rio de Janeiro* Mimesis, 2022

Tutela della Biodiversità per INWIT: impatti e opportunità - Position Paper

Emanuele Cardinale emanuele.cardinale@inwit.it, INWIT S.p.A., Roma
David Giraldi dgiraldi@ambientesc.it, ambiente S.p.A., Carrara

Riassunto

INWIT, primo tower operator italiano, ha voluto inquadrare l'incidenza delle proprie attività sulla biodiversità italiana considerando le diverse tipologie ambientali su cui insistono le proprie infrastrutture. La stima teorica delle incidenze ha evidenziato che le aree con maggiore incidenza sono quelle naturali o vicine a corpi idrici, sulle quali insistono circa il 12% delle torri INWIT e i valori teorici relativi alla stima della magnitudine delle incidenze pertinenti alle attività in esame risultano invariabilmente compresi fra i valori di assente/non significativa e lieve/moderata, questi ultimi connessi con l'alterazione o il disturbo di habitat di specie. Sono state, inoltre, valutate le opportunità a vantaggio e a tutela della biodiversità, direttamente legate alle attività di INWIT in una logica di digital tower: su tutte, l'installazione sulle torri di sensoristica IoT e videocamere smart per il monitoraggio ambientale, faunistico o per scopi di prevenzione incendi nelle aree protette.

Summary

INWIT, Italy's first tower operator, wanted to frame the incidence of its activities on Italian biodiversity by considering the different types of environment on which its infrastructures insist. The theoretical estimate of incidences showed that the areas with the highest incidence are natural areas or near water bodies, on which about 12% of INWIT towers insist and the theoretical values for estimating the magnitude of impacts relevant to the activities under consideration invariably fall between the values of absent/not significant and slight/moderate, the latter being related to the alteration or disturbance of species habitats. In addition, opportunities for the benefit and protection of biodiversity that can be directly related to the activities of INWIT in a logic of digital tower were evaluated: on all, the installation of sensors IoT and smart cameras on the towers, for environmental monitoring, wildlife monitoring or fire prevention purposes in protected areas.

1. Introduzione

L'Italia è considerata un hotspot di biodiversità.[1] Infatti, il territorio italiano è importante per l'elevato numero di specie endemiche vegetali e per l'elevata variabilità ambientale.[2] Le maggiori pressioni sulla biodiversità a livello nazionale derivano dall'attività umana. [1,2]

1.1 Stato dell'arte delle specie animali e vegetali italiani

La flora italiana conta ad oggi 1.169 briofite (297 epatiche e antocerote e 872 muschi) e 8.195 piante vascolari (23 licofite, 108 felci e affini, 30 gimnosperme e 8.034 angiosperme).[3] Il dato è in continuo aggiornamento in virtù dei recenti studi tassonomici e della scoperta di nuove specie.[4]

La maggior parte delle specie animali è costituita dagli invertebrati, che comprendono 54.942

specie (46.603 artropodi, 2.158 molluschi, 1.357 nematodi, 1.317 platelminti, 1.163 anellidi e 2.344 specie afferenti a *phyla* meno numerosi, quali cnidari, poriferi ed echinodermi).[3] Per quanto riguarda i vertebrati, le specie totali sono 1.258 (74 pesci cartilaginei, 494 pesci ossei, 38 anfibi, 52 rettili, 473 uccelli e 127 mammiferi).[3]

1.2 *Endemismi e specie a rischio in Italia*

La flora italiana presenta 1.330 specie endemiche, corrispondenti al 18,4% della flora autoctona italiana (il 65% sono endemismi regionali).[5] La fauna italiana conta invece 4.777 specie endemiche (8,6% della ricchezza specifica italiana).[6] La principale valutazione del livello di rischio per la conservazione delle specie faunistiche e floristiche è effettuata dall'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN), attraverso la realizzazione delle cosiddette "Liste Rosse".[7] Questa ha evidenziato come le specie marine siano quelle maggiormente a rischio, seguite dalle specie di dulciacquicole, dalle specie forestali e dalle specie di habitat prativo. Si osserva inoltre che gli endemismi risultano mediamente più a rischio.[3,8]

1.3 *Biodiversità ambientale in Italia*

Il territorio italiano possiede un'elevata diversità ambientale se rapportato con la media continentale. Infatti, dei 233 habitat della Direttiva europea "Habitat", ne sono presenti in Italia 137 (58,8%).[9,10] Risulta ugualmente molto alta anche la percentuale di habitat prioritari, ovvero 35 su 71 individuati a livello europeo (circa il 50%).[10,11]

1.4 *Aree protette italiane*

Le aree protette di ispirazione nazionale si dividono in Parchi Nazionali (24), Aree Marine Protette (27), Parchi Naturali Regionali (134), Riserve Naturali Statali (147) e Regionali (365) e altre tipologie specifiche di aree protette a scala nazionale o locale (174).[12] Ricoprono un'estensione di più di 3 milioni di ettari, per una copertura di circa il 10,5% del territorio nazionale.[13]

Le aree protette di ispirazione comunitaria si dividono fra ZPS (Zone di Protezione Speciale), individuate ai sensi della Direttiva "Uccelli", e SIC (Siti d'Importanza Comunitaria) / ZSC (Zone Speciali di Conservazione), ai sensi della Direttiva "Habitat". Si definiscono complessivamente "Siti Natura 2000", e assieme agli altri Siti europei formano la "Rete Natura 2000". [9] I Siti Natura 2000 in Italia sono 2.625, per un totale di quasi 6 milioni di ettari su terra (19,35% del territorio nazionale) e più di 1,5 milioni di ettari in mare. [14]

2. **Relazione**

INWIT ha identificato i fattori di incidenza potenziale (ovvero fattori che potrebbero portare ad un impatto negativo sulla biodiversità) connessi alle principali attività svolte in qualità di *tower operator*.

L'analisi ha preso in considerazione le due tipologie di torri ad oggi esistenti:

- *roof-top*, riferita alle infrastrutture realizzate su un immobile e costituite da una o più paline di carpenterie, che insistono su edifici preesistenti e sono principalmente legate ad aree urbane e industriali;
- *raw-land*, riferita a tutte quelle infrastrutture realizzate su un terreno, possono essere pali o tralicci, di diverse dimensioni e altezze, localizzate prevalentemente in aree agricole o boscate: fra le torri di tipologia *raw-land* è necessario distinguere le incidenze derivate dalle installazioni *fast-site*, costituite da elementi prefabbricati, rispetto a quelle realizzate *ex novo* con installazioni progettate *ad hoc*.

La valutazione delle incidenze nei confronti degli habitat, di seguito descritta, viene basata

sulle interferenze aventi come bersaglio principale il popolamento vegetazionale che li definisce e caratterizza, così come previsto dalla normativa comunitaria di riferimento (es. Direttiva “Habitat”).[9]

2.1 Uso del suolo (Tab. 1; Tab. 2)

L'incidenza in esame è connessa agli effetti che modificano il livello di naturalità dell'habitat interferito, sia nel senso della rarità, della fragilità e della consistenza, o a comprometterne la capacità di autorigenerazione.[15] Il primo parametro mette in evidenza il grado di impoverimento delle strutture vegetazionali in relazione al livello di naturalità presente e alla diversità dei sistemi biotici ivi ricompresi, mentre il secondo misura la capacità di autorigenerazione della fitocenosi (*recovery*).[16]

Nel caso di costruzioni *ex-novo*, questa tipologia d'incidenza risulta essere temporanea per quanto riguarda le aree di stoccaggio o di cantiere, mentre è permanente in relazione all'area fisicamente occupata dall'opera. La valenza dell'incidenza è pertanto direttamente proporzionale alle dimensioni dell'opera (nell'ordine delle decine di metri quadri), ed è nulla per le strutture di tipo *roof-top*, che insistono su suolo già costruito. Per quanto riguarda la tipologia *raw-land*, gli ambienti boschivi o comunque a vegetazione naturale o seminaturale sono quelli maggiormente sensibili, mentre le realizzazioni in aree agricole comportano un minore impatto sulla biodiversità.

| Tipologia ambientale | Numero di siti in INWIT (%) |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Aree costruite | 13.256 (55,3%) |
| Aree agricole | 7.934 (33,1%) |
| Aree boscate e ambienti seminaturali | 2.670 (11,1%) |
| Aree umide | 4 (0,02%) |
| Corpi idrici | 124 (0,5%) |

Tab. 1 – Stato dell'arte dei siti INWIT rispetto alla tipologia ambientale [3]

| | |
|--|--------------|
| Siti INWIT in Siti Natura 2000 | 1.159 (4,9%) |
| Siti Natura 2000 con presenza Siti INWIT | 490 (23,7%) |

Tab. 2 – Dati relativi a Siti INWIT e Siti Natura 2000 [3]

2.2 Cambiamenti climatici

L'incidenza in esame è connessa alla liberazione in atmosfera di gas climalteranti: l'effetto risulta trascurabile a piccola scala; tuttavia, a scala globale, determina l'insorgere di fenomeni climatici negativi sia per l'uomo che per la biodiversità. L'anidride carbonica (CO₂) è il principale gas serra prodotto dalle attività umane e pertanto risulta essere particolarmente indicativo per la quantificazione di questa incidenza. Relativamente all'attività in esame, l'incidenza diretta è quella connessa al rilascio di CO₂ come gas di scarico da parte dei mezzi impiegati in cantiere; un'incidenza indiretta è invece quella connessa all'assorbimento di energia elettrica da parte dell'opera in fase di esercizio. Riguardo alla prima, si evidenzia come le attività di cantiere abbiano una durata relativamente contenuta, che varia dai due giorni previsti per gli impianti di tipo *fast-site* alle due-quattro settimane per quelli realizzati *ad hoc*. Relativamente alla seconda, l'utilizzo di energia elettrica è minore negli impianti che installano raddrizzatori di corrente ad alta efficienza o tecnologie *free cooling* rispetto a strutture che impiegano siste-

mi più energivori. Peraltro, INWIT utilizza, a partire dal 2022, il 100% di energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili.

2.3 *Alterazione della qualità delle acque*

L'incidenza in esame è quella connessa all'alterazione delle caratteristiche chimico-fisiche dei corpi idrici collocati in prossimità dell'infrastruttura, anche per cause indirette. Il bersaglio di tale incidenza è rappresentato da flora e fauna legate agli ambienti umidi, in particolare dalle componenti più sensibili delle stesse. Considerando l'utilizzo che le specie animali e vegetali fanno dell'acqua, appare evidente come l'alterazione a livello chimico-fisico possa comportare ricadute, anche gravi. [3,17]

Nel presente caso, seppur limitato, un possibile impatto può scaturire da una cattiva gestione delle acque meteoriche dilavanti contaminate.

I corpi idrici inseriti in contesti boschivi o comunque naturali/seminaturali sono maggiormente sensibili a questa incidenza, rispetto a quelli in aree agricole o in contesti urbani e periurbani.

2.4 *Alterazione o disturbo di habitat di specie: incidenze fisiche*

Questa tipologia di incidenza comprende un'ampia gamma di disturbi di tipo fisico, aventi come bersaglio le specie faunistiche e i relativi habitat. Se ne possono individuare tre tipi principali:

- Disturbi alla componente vegetazionale degli habitat di specie: si esplicita principalmente attraverso le emissioni in atmosfera di polveri e dai gas di scarico prodotti dai mezzi. Il particolato aerodisperso che si deposita sulle lamine fogliari determina uno stato di forte stress per la componente vegetazionale, in particolare nelle proprie componenti più sensibili. La scomparsa di tali specie comporta l'alterazione della fitocenosi, con ovvie ricadute anche a livello faunistico.[3] Nel caso in esame, il periodo relativamente contenuto delle lavorazioni (i.e. impianti di tipo *fast-site*) riduce sensibilmente questo tipo d'impatto, che comunque risulta maggiore per le aree boscate o largamente vegetate.

- Disturbi da inquinamento acustico o vibrazionale: si tratta dell'incidenza connessa all'aumento dei livelli di rumore causato dai mezzi impegnati nelle attività di cantiere. Il bersaglio è la componente faunistica, in particolare la fauna mobile terrestre e l'avifauna residente o soggiornante nell'area interferita, che potrebbe allontanarsi nel periodo di realizzazione dei lavori.[18] L'aumento dei livelli di rumore risulta particolarmente impattante durante il periodo di nidificazione delle specie avicole e nei periodi riproduttivi delle specie più sensibili; l'incidenza risulta, inoltre, maggiore nei periodi di ibernazione o di altre forme di letargia, specialmente per quanto riguarda la chiroterofauna.[19] Inoltre, l'aspetto vibrazionale legato alle lavorazioni provoca un disturbo della fauna tellurica residente presso il sedime dell'opera. Anche questa tipologia d'impatto viene ridotta in relazione alla breve durata delle attività di cantiere. In linea di massima, le specie boschive vengono maggiormente disturbate dal rumore rispetto alle specie che colonizzano ambienti aperti: la valenza di questo tipo di incidenza deve essere tuttavia adeguatamente valutata, tenendo presenti le specie sensibili residenti in ciascun territorio.

- Mortalità dovuta a travolgimento: si tratta dell'incidenza connessa all'occasionale uccisione di animali che vengono travolti dai veicoli impegnati nell'attività di cantiere. L'effetto di tali abbattimenti è quello di ridurre le popolazioni faunistiche presenti nell'area, nonché di determinare l'interruzione dei corridoi ecologici presenti nell'area stessa. L'incidenza risulta maggiormente significativa dove siano presenti popolazioni particolarmente vulnerabili o che compiono periodiche migrazioni di massa attraversando le infrastrutture. Il bersaglio di questa incidenza risulta la fauna vagile terrestre e in particolare la piccola fauna dalla bassa

mobilità, come anfibi e rettili.[17] Questa tipologia d'incidenza risulta maggiore in ambienti prossimi a specchi d'acqua naturali o artificiali (abbeveratoi), anche in aree periurbane o comunque interessate da attività antropiche.

2.5 Alterazione o disturbo di habitat di specie: incidenze visive

L'incidenza in esame è quella connessa all'aumento dei livelli di disturbo visivo o percettivo causato dalla presenza dell'opera. Questa tipologia d'impatto risulta permanente per quanto riguarda le specie più sensibili alla presenza di antropizzazione. Le specie maggiormente tolleranti sono invece soggette ad una progressiva acclimatazione alla presenza dell'opera (il disturbo può risolversi con un allontanamento temporaneo). Questo disturbo risulta sensibilmente maggiore laddove l'opera preveda un'illuminazione. Particolare attenzione richiede l'analisi del fenomeno di fototassi positiva, che comporta un aumento dei livelli di predazione di molti insetti notturni; anche le specie più vulnerabili di chiroterri insettivori possono essere colpite negativamente da tale fenomeno, che può determinare lo spostamento delle loro prede al di fuori delle aree di foraggiamento abituale. Il disturbo può avere come bersaglio anche alcuni animali diurni, quali uccelli canori o anfibi, i quali potrebbero essere indotti a proseguire l'attività di canto anche in orario notturno. [3,20]

Per le specie più tolleranti, è possibile ipotizzare un'acclimatazione completa già nel medio periodo. Le aree boscate sono quelle per le quali l'incidenza ha verosimilmente una valenza maggiore; viceversa, risulta praticamente nulla per le aree fortemente urbanizzate o già interessate da strutture simili. Per quanto riguarda l'inquinamento luminoso esso è previsto solo in presenza di luci di segnalazione e interessa maggiormente aree frequentate da chiroterri o rapaci notturni, come zone limitrofe a edifici abbandonati o grotte.

3. Conclusioni

Per valutare complessivamente l'attività di INWIT devono essere considerate le incidenze descritte nei precedenti capitoli che insistono sulle diverse tipologie ambientali, sia in termini di probabilità sia di magnitudine (Tab.3).

| | Rooftop | | | | Rawland | | | |
|---|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|---------------|-------------------|--------------|
| | Aree Urbane o Industriali | Aree Agricole | Aree Naturali | Corpi idrici | Aree Urbane o Industriali | Aree Agricole | Aree Naturali | Corpi idrici |
| UDS uso del suolo | assente | assente | assente | assente | da valutare | da valutare | Sensibile | assente |
| CC cambiamenti climatici | sensibile | sensibile | sensibile | sensibile | sensibile | sensibile | Sensibile | sensibile |
| AQA alterazione della qualità delle acque | non significativa | da valutare | non significativa | sensibile | non significativa | da valutare | non significativa | sensibile |
| ASF alterazione di habitat di specie: incidenze fisiche | da valutare | da valutare | sensibile | sensibile | da valutare | da valutare | Sensibile | sensibile |
| ASV alterazione di habitat di specie: incidenze visive | non significativa | non significativa | non significativa | non significativa | da valutare | sensibile | Sensibile | sensibile |

Tab. 3 – Stima della probabilità di occorrenza delle incidenze individuate per tipologia ambientale, per impianto roof-top e raw-land

Relativamente alla stima delle incidenze, in termini di magnitudine, ovvero l'entità degli eventuali impatti ad esse riconducibili nei confronti dei relativi bersagli, è possibile fornire una valutazione teorica di massima, tenendo conto della tipologia di impatto e del grado di naturalità degli ambienti interferiti. Il parametro è stimato come pari a zero laddove l'incidenza sia ritenuta assente o comunque non significativa; dove una possibile occorrenza della stessa sia ritenuta sensibile o comunque da valutare in relazione alla presenza o meno degli elementi ambientali bersaglio. Si sottolinea come tale stima teorica dovrà essere raffinata nelle fasi successive della progettazione, una volta individuati e descritti nel dettaglio i bersagli effettivi dell'incidenza e la loro rilevanza a livello ecologico e conservazionistico, in particolare per quanto riguarda gli interventi in aree naturali protette.

I valori teorici relativi alla stima della magnitudine delle incidenze relative alle attività in esame risultano invariabilmente compresi fra i valori di assente/non significativa e lieve/moderata.

Le incidenze con valori di magnitudine maggiori, comunque ricompresi nei limiti di cui sopra, risultano essere connesse con l'alterazione o il disturbo di habitat di specie; per tali incidenze possono essere previste misure di mitigazione in grado di ridurre efficacemente tale valenza.

Le tipologie ambientali "aree naturali" e "corpi idrici" (circa il 12%) risultano essere le tipologie per le quali è possibile prevedere l'occorrenza di incidenze aventi valore di magnitudine non trascurabile.

Le tipologie di tipo *roof-top* risultano essere sensibilmente meno incidenti delle tipologie *raw-land*, data l'assenza di incidenze significative relative all'uso del suolo e dell'alterazione o disturbo di habitat di specie.

3.1 Opportunità derivanti dall'attività di INWIT e tutela della biodiversità

Sono state, inoltre, valutate le opportunità a vantaggio e a tutela della biodiversità che possono essere direttamente legate alle attività di INWIT in una logica di *digital tower*: come l'installazione sulle torri di sensoristica IoT e videocamere smart, per il monitoraggio ambientale, faunistico o per scopi di prevenzione incendi nelle aree protette anche in partnership con enti locali e le principali associazioni nazionali. [21,22] Come ulteriore iniziativa a vantaggio della biodiversità, INWIT ha sviluppato protocolli specifici a disposizione dei tecnici per la tutela della biodiversità, dedicati alla realizzazione di nuove infrastrutture, al fine di limitare ulteriormente l'impatto sulla biodiversità. Questi protocolli, a partire dall'individuazione di elementi di qualità ambientale, prevedono di rilevare le possibili incidenze, le conseguenti misure di mitigazione necessarie e i monitoraggi predisposti alla verifica di efficacia di tali misure. [15,17,21,23,24]

Bibliografia

- [1] Angelini P., Arcangeli A., Capogrossi R., et al., 2018. Biosfera. Annuario dei dati ambientali. ISPRA.
- [2] Blasi C., Boitani L., La Posta S., Manes F., Marchetti M. 2005. Stato della biodiversità in Italia. Contributo alla strategia nazionale per la biodiversità.
- [3] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). <https://www.isprambiente.gov.it/>
- [4] Bartolucci F., Peruzzi L., Galasso G., et al., 2018. An updated check-list of the vascular flora native to Italy. *Plant Biosystems*, 152(2), 179-303.
- [5] Peruzzi L., Conti F., Bartolucci F. 2012. Inventario delle piante vascolari endemiche d'Italia. In: *Flora vascolare d'Italia: studi biosistemati, taxa endemici e loci classici*.
- [6] **Checklist della fauna italiana online**. <https://www.faunaitalia.it/checklist>
- [7] **Unione Internazionale per la Conservazione della Natura – Comitato italiano** <http://www.iucn.it/>
- [8] Rondinini C., Battistoni A., Teofili C. 2014. Lo stato della Biodiversità in Italia: l'applicazione dell'approccio Sampled Red List e Red List Index.
- [9] Consiglio D'Europa, 2009. Direttiva 2009/147/CEE del Consiglio del 30 novembre 2009 relativa

alla conservazione degli uccelli selvatici. UE: Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, 26/1/2010, L 20, p.7.

[10] **Biondi E., Blasi C., Burrascano S., et al.**, 2009. Manuale Italiano di Interpretazione degli Habitat della Direttiva 92/43/CEE. Società Botanica Italiana.

[11] **Genovesi P., Angelini P., Bianchi E., et al.**, 2014. Specie e habitat di interesse comunitario in Italia: distribuzione, stato di conservazione e trend. ISPRA, Serie Rapporti, 194/2014

[12] **Repubblica italiana**, 2010. Elenco ufficiale delle aree protette (EUAP) - 6° Aggiornamento. Supplemento ordinario n. 115 alla Gazzetta Ufficiale n. 125 del 31 maggio 2010

[13] **Portale dei Parchi Italiani**. <http://www.parks.it/>

[14] **Annuario ISPRA**. <https://annuario.isprambiente.it/>

[15] **Angelini P., Casella L., Grignetti A., Genovesi P. (eds.)**, 2016. Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE) in Italia: habitat. ISPRA, Serie Manuali e linee guida, 142/2016.

[16] **Munafò, M. (eds.)**, 2021. Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2021. Report SNPA 22/21.

[17] **Stoch F., Genovesi P. (eds.)**, 2016. Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE) in Italia: specie animali. ISPRA, Serie Manuali e linee guida, 141/2016.

[18] **Reijnen R., Foppen R., Braak C. T., Thissen J.** 1995. The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. III. Reduction of density in relation to the proximity of main roads. *Journal of Applied ecology*, 187-202.

[19] **Agnetti P., Russo D., Martinoli A. (a cura di)**, 2008. Linee guida per la conservazione dei Chiroterri nelle costruzioni antropiche e la risoluzione degli aspetti conflittuali connessi.

[20] **Canè V., Farchi C., Logorelli M., Marsico G., Vaccaro L.**, 2014. Illuminazione a led e sostenibilità ambientale. ISPRA, Quaderni – Quaderno Ambiente e Società 9/2014.

[21] **Kleinhaus S., Pinshow B., Frumkin R., Ruppin R., Margalot M.**, 1995. Thermal effects of short radio waves on migrating birds. *Ecological Applications*, 5(3), 672-679.

[22] **de'Munari E., Allegrini I., Bardizza N., et al.**, 2004. Linee guida per la predisposizione delle reti di monitoraggio della qualità dell'aria in Italia. APAT.

[23] **Elzinga C., Salzer D. W., Willoghby J. W., Gibbs J. P.**, 2001 *Monitoring Plant and Animal Populations*. Blackwell Science. Malden MA.

[24] **Ercole S., Giacanelli V., Bacchetta G., Fenu G., Genovesi P. (eds.)**, 2016. Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE) in Italia: specie vegetali. ISPRA, Serie Manuali e linee guida, 140/2016.

Biomateriali da nanotecnologie per il recupero di scarti della filiera agroforestali

Antonella Macagnano (CNR - Istituto sull'Inquinamento Atmosferico – Roma - antonella.macagnano@cnr.it); Massimo Mari (CNR - Istituto sull'Inquinamento Atmosferico – Roma - massimo.mari@cnr.it); Fabrizio De Cesare (Università della Tuscia – DIBAF – Viterbo - fabrizio.decesare@iia.cnr.it); Daniele Bianconi (CNR - Istituto sull'Inquinamento Atmosferico – Roma - bianconi@iia.cnr.it)

Riassunto

La Commissione Europea, in particolare attraverso la nuova PAC, intende garantire un'agricoltura e una selvicoltura sostenibile dal punto di vista economico, sociale e ambientale, riservando gran parte delle risorse per azioni per il clima. In questo contesto, l'eccezionale valore del capitale naturale nazionale offre terreno fertile per uno sviluppo esponenziale dei settori e delle filiere afferenti alla bioeconomia, orientato da un'accurata analisi socio-territoriale. L'Istituto sull'inquinamento atmosferico (IIA) del CNR, attraverso il proprio know-how, tecnologie e strutture, è in grado di permettere il recupero di molteplici tipologie di scarto agrolimentare e agroforestale attualmente destinate a smaltimento. La tecnologia dell'elettrofilatura permette il recupero di "materia prima seconda" da varie tipologie di scarto biologico da reinserire nel ciclo produttivo. Il processo è in grado di realizzare una pletera di combinazioni dei componenti residui in prodotti nanostrutturati, di particolare interesse per la creazione di coating attivi (es. a lento rilascio, proprietà antimicrobica, ecc.) anche per la protezione di manufatti lignei o di prodotti della filiera. Inoltre, con la medesima tecnologia, l'utilizzo degli stessi scarti, in miscele differenti, possono essere destinati allo sviluppo di sistemi multifunzionali intelligenti per una agricoltura sostenibile e competitiva, spesso senza l'utilizzo di solventi tossici e processi particolarmente energivori.

Summary

The European Commission, particularly through the new CAP, intends to ensure economically, socially and environmentally sustainable agriculture and forestry by reserving a large part of resources for climate actions. In this context, the exceptional value of national natural capital provides fertile ground for exponential development of sectors and supply chains related to the bioeconomy, guided by careful socio-territorial analysis. CNR's Institute on Air Pollution (IIA), through its know-how, technologies and facilities, is able to enable the recovery of multiple types of agribusiness and agroforestry waste currently destined for disposal. Electrospinning technology allows the recovery of "second raw material" from various types of biological waste to be reintroduced into the production cycle. The process is able to realize a plethora of combinations of the residual components into nanostructured products, which are of particular interest for creating active coatings (e.g., slow release, antimicrobial properties, etc.) also for the protection of wooden artifacts or supply chain products. In addition, with the same technology, the use of the same wastes, in different mixtures, can be used for the development of smart multifunctional

systems for sustainable and competitive agriculture, often without the use of toxic solvents and particularly energy-intensive processes.

1. Introduzione

La pandemia da Covid-19 ha avuto gravi ripercussioni a livello economico e sociale, che hanno reso necessaria un'azione urgente da parte delle Istituzioni europee. A tal fine, è stato messo a disposizione il *Next Generation EU* (NGEU) che ha l'obiettivo di stimolare la ripresa dell'Europa in un'ottica più moderna e sostenibile. In Italia il *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza* (PNRR) prevede lo stanziamento di risorse specifiche per l'innovazione *green* dei sistemi agricoli e agroalimentari. Sono previsti, ad esempio, interventi per il potenziamento del riciclo dei rifiuti, programmi di investimento per le fonti di energia rinnovabili e per la gestione sostenibile delle risorse. In sinergia con il *Green Deal* la Commissione Europea, in particolare attraverso la nuova PAC, intende garantire un'agricoltura e una selvicoltura sostenibile dal punto di vista economico, sociale e ambientale, riservando gran parte delle risorse per azioni per il clima. La nuova PAC dovrà contribuire alla maggior ambizione ambientale dell'UE, attraverso un'ampia gamma di interventi mirati a esigenze specifiche e risultati tangibili, in modo particolare al *Green Deal*. Per raggiungere tale target il 40% del bilancio della PAC dovrà essere destinato a spese a favore di clima e ambiente, e il 10% agli obiettivi di biodiversità entro fine periodo 2021-2027.

La nuova riforma della PAC impegna gli agricoltori verso obiettivi molto ambiziosi. Sotto il profilo ambientale viene chiesto loro di accelerare ulteriormente lo sforzo verso la riduzione della chimica in agricoltura e degli antimicrobici negli allevamenti. A tal fine, per esempio, è stato inserito il tema "ECO 2 - Inerbimento delle colture arboree" tra i 5 *eco-schemi* citati come priorità del PSN. L'ECO2 riguarda le superfici agricole destinate a colture permanenti (legnose agrarie) e ad altre specie arboree permanenti a rotazione rapida. Attraverso questo strumento verranno incentivati gli agricoltori all'adozione di pratiche più ambiziose, allo scopo di mitigare l'effetto dei cambiamenti climatici, implementare il sequestro di carbonio e diminuire, per quanto possibile, l'erosione del suolo [1].

L'architettura della nuova PAC si basa su un modello secondo cui l'UE stabilisce obiettivi e i requisiti di base, mentre gli Stati membri sono responsabili del modo con cui raggiungere gli obiettivi e i target finali, con l'elaborazione di un piano strategico nazionale (PSN). Il PSN italiano contiene 31 impegni agro-ambientali tra cui possiamo sottolineare:

- l'ACA4 - Apporto di sostanza organica nei suoli. L'intervento prevede un aiuto per i beneficiari che si impegnano a migliorare le caratteristiche strutturali e chimico-fisiche dei suoli agricoli mediante l'apporto e il mantenimento diretto di sostanza organica;
- l'ACA19 - Riduzione impiego fitofarmaci. L'intervento intende ridurre la deriva di prodotti fitosanitari durante la loro distribuzione e la eliminazione/riduzione dei fitofarmaci individuati come più pericolosi nel "Piano di azione nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari" (DM 22 gennaio 2014);
- l'ACA24 - Pratiche di agricoltura di precisione. L'intervento prevede un pagamento annuale per ettaro di SAU per l'adozione di tecniche di agricoltura di precisione ("Linee Guida Nazionali per lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione in Italia", approvate con D.M. del 22 dicembre 2017). La raccolta, la gestione e l'integrazione di dati satellitari, meteorologici, da droni e da sensori in campo con i dati relativi alle operazioni colturali, riduce il rischio di inquinamento e degrado ambientale connesso all'uso dei prodotti fitosanitari e dei fertilizzanti e promuove l'uso razionale dell'acqua per l'irrigazione.

2. Relazione

Nel contesto brevemente descritto il CNR ha individuato delle Linee Guida derivanti “dall’analisi dei settori su cui vi è maggiore necessità di impiego di tecnologie per consolidare e potenziare filiere economiche, per garantire un miglioramento della qualità della vita dei cittadini, per creare le condizioni per uno sviluppo innovativo e sostenibile di settori portanti per l’economia italiana e per fronteggiare emergenze ambientali” che sottolineano come l’agricoltura sia uno dei settori maggiormente colpiti dalla pandemia, risultando presente in almeno due delle tematiche dei Piani Strategici. Uno di questi evidenzia al riguardo l’urgenza di “Riprogrammare le filiere agro-alimentari dopo la pandemia COVID-19” a partire da conoscenze interdisciplinari per implementare un’agricoltura più efficiente e produttiva e che garantisca l’uso sostenibile delle risorse scarse e che presumibilmente diventeranno sempre più limitanti a causa dei cambiamenti climatici e dell’aumento della popolazione (acqua, suolo, fertilizzanti, energia). Per dare attuazione alle Linee guida del CNR le attività di ricerca dell’Istituto sull’Inquinamento Atmosferico (IIA) del CNR si sono maggiormente concentrate sull’ideazione di progetti di “bioeconomia circolare” che, grazie all’utilizzo di tecnologie innovative, possano permettere la rivalutazione di scarti di origine agro alimentare e agroforestale ai fini di un loro pronto reinserimento nei cicli di produzione e consumo. Il progetto strategico “TERRE”, di seguito illustrato, intende conseguire un duplice obiettivo, in termini di circolarità: la prevenzione di rifiuti inquinanti (ad es. plastici) e il recupero degli scarti agro alimentari ed agroforestali che potranno essere reinseriti nel ciclo produttivo, con conseguenti vantaggi in termini sia ambientali che economici. Le soluzioni proposte nel presente lavoro si configurano in linea con i principi cardine in materia di economia circolare [2][3][4][5]

2.1 Il progetto di ricerca applicata “TERRE”

TERRE propone un modello bioispirato multifunzionale implementabile con una tecnologia basata sui principi dell’elettrofilatura polimerica per ottenere dei dispositivi nanofibrosi versatili e modulabili in una pletera di architetture (garze, tessuti, reti, vasi) e combinazioni chimiche per applicazioni in sistemi agricoli [6,7]. Tali dispositivi potranno essere facilmente sviluppabili utilizzando come risorse principali alcune categorie di scarti agro-industriali ed agroforestali. Essi saranno attivati sia con agenti nano-biostimolanti (dedicati allo sviluppo delle coltivazioni), sia con agenti “sensibili” (sviluppo di sensori) alle variazioni gassose/volatili (volatolomica) dell’ecosistema suolo-pianta, divenendo un modello innovativo per migliorare l’infrastruttura tecnologica delle pratiche agricole. Infatti, la combinazione di prodotti innovativi per l’agricoltura con sensori in grado di monitorare il loro stesso funzionamento, manterrà la competitività dei raccolti e delle aziende agricole, migliorando, nello stesso tempo, la protezione delle risorse naturali e del suolo. Il modello proposto in TERRE è inoltre guidato da un approccio waste-to-wealth, dove tutti i prodotti vengono riutilizzati, come in natura, in un modello circolare di valorizzazione dei rifiuti. Quindi, per esempio, scarti agro-industriali (gusci di frutta secca) o biomasse infestanti (macroalghe nelle lagune) o residui di processi biotecnologici (pareti di lieviti e funghi) diventeranno la base per nuove risorse “intelligenti” da riutilizzare in sistemi agricoli sostenibili e controllati.

2.2 La tecnologia dell’elettrofilatura

L’eccezionale flessibilità dell’elettrofilatura permette di ottenere materiali polimerici nanostrutturati ad architettura controllata a partire da microorganismi, piante, alghe e da numerosissimi scarti del settore agroalimentare (Fig.1). I prodotti possono essere progettati con spessore (da mm a cm) e dimensioni modulabili (da alcuni cm a decine di metri), e presentano un intricato network di fibre tridimensionali interconnesse tra di loro. La tecnica risulta assai vantaggiosa in quanto è molto rapida e permette di ottenere un campione già secco (cioè senza

la presenza di solvente) in modo da poter evitare successivi e costosi processi di essiccazione. Inoltre, i materiali elettrofilati (ESNf) offrono molti vantaggi, sia strutturali che funzionali, grazie all'elevato rapporto superficie-volume. D'altra parte, alcuni loro vantaggi funzionali risiedono in una maggiore stabilità delle molecole bioattive e la possibilità di ottenere un rilascio controllato delle molecole incorporate. L'elettrofilatura è inoltre una tecnologia riproducibile, a costi contenuti e scalabile a livello industriale: attraverso l'applicazione di un campo elettrico, è in grado di produrre nano-microfibre a partire da soluzioni polimeriche normali o composite.

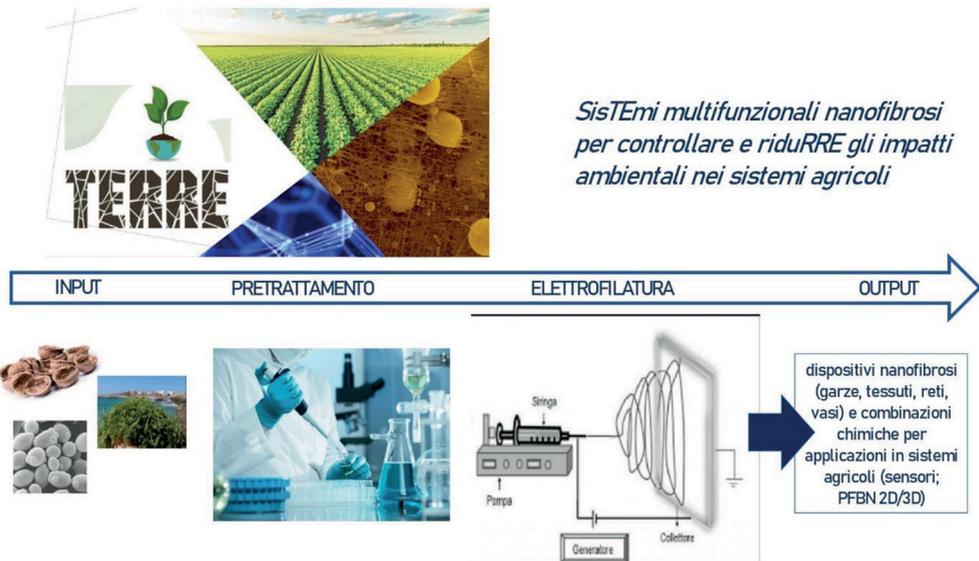


Fig. 1 – Rappresentazione grafica del trattamento con electrospinning di alcuni esempi di scarti agro alimentari per la realizzazione di polimeri ecocompatibili da reinserire nel ciclo produttivo.

Tale tecnologia permette di selezionare i materiali di scarto oggetto del trattamento funzionale e la loro reintroduzione nel ciclo produttivo in base alla loro reale disponibilità sul territorio ed al livello di criticità connesso alle modalità di smaltimento del rifiuto. Questo, specie nel lungo periodo, favorisce senza alcun dubbio la massimizzazione dei risultati attesi in termini di benefici ambientali e vantaggi economici per il sistema. Un ulteriore contributo alla riduzione dell'impatto ambientale viene dato dall'utilizzo di solventi eco-friendly durante la procedura di produzione.

2.3 Scarti agroalimentari selezionati

Diverse considerazioni in merito alla natura ed alle caratteristiche proprie dello scarto agro alimentare considerato, nonché il livello di disponibilità territoriale e di problematicità connessa al trattamento dello stesso, hanno orientato la selezione dei rifiuti da sottoporre a trattamento con elettrofilatura funzionale al recupero nell'ambito dei progetti di ricerca dell'IIA. Alcune delle biomasse di scarto selezionate sono: alghe marine infestanti (ricche di biopolimeri quali alginati, polimeri solforati (es. carragenani) e polifenoli (es. flavonoidi) con proprietà funzionali e strutturali); scarti derivanti dalla lavorazione delle noci e delle nocciole (contenenti residui ligneo-cellulosici (emicellulosa, cellulosa, lignina), tannini e oli, cere vegetali); scarti di origine vegetale (contenenti residui di cellulosa, emicellulosa e lignina, mono- ed oligosaccari-

di); antocianine, clorofille, polifenoli, carotenoidi, tannini (componenti funzionali)); pareti di lieviti e funghi (chitina, chitosano).

2.4 *Innovazione ed Applicazioni proposte*

Considerando che il campo applicativo è quello agricolo, i prodotti proposti in questo progetto come innovazioni rispetto a quelli presenti in commercio ricadono nelle categorie dei nano(bio)fertilizzanti e nano(bio)stimolanti.

1. Nanomateriali. La notevole flessibilità e adattabilità della tecnologia adottata è in grado di generare una molteplicità di forme e soluzioni 2D/3D, con vario grado di porosità e superficie specifica, consentendo la realizzazione di un'ampia varietà di polimeri nanofibrosi per varie necessità applicative (dal supporto alla nutrizione al contrasto di patologie).

2. Microrganismi. I biotessuti nanofibrosi possono essere progettati per creare un ambiente protetto per le popolazioni microbiche selezionate ed in esso inglobate, garantendo un maggior successo di sopravvivenza nell'ambiente, e quindi dell'efficacia, del dispositivo prodotto, rispetto ai preparati commerciali.

3. Molteplicità di prodotti. La variabilità e numerosità dei biopolimeri e dei biostimolanti ricavabili dai rifiuti/scarti in funzione della loro tipologia e disponibilità (variabile anche in base alla stagionalità e alla regionalità) consentirà loro una molteplicità di utilizzazioni (strutturali o funzionali), ampliando grandemente la tipologia dei tessuti realizzabili.

2.5 *Ecosostenibilità ed Ecocompatibilità*

La possibilità di creare in TERRE dei tessuti 2D/3D (ESNf) per vari utilizzi in ambito agricolo, realizzati con componenti biodegradabili naturali, permetterà strategie costruttive mirate ad un lento rilascio dei componenti bioattivi funzionali e di conseguenza consentirà di ottenere degli strumenti per l'agricoltura con un impatto molto basso sugli ecosistemi quindi ecocompatibili ed ecosostenibili. I principali vantaggi, nel breve e nel lungo periodo sono riportati nell'analisi SWOT (Fig.2).

| Progetto «TERRE» - analisi S.W.O.T. | |
|--|---|
| <p style="text-align: center;">Strengths (punti di forza nel breve periodo)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Riduzione rifiuti biologici provenienti da attività del settore agroalimentare ✓ Riduzione dell'inquinamento prodotto dalle attività agricole coinvolte ✓ Rafforzamento di filiere di produzione agricola a ridotto impatto ambientale ✓ Acquisizione ed ampliamento di conoscenze in materia di ricerca industriale, di ecodesign, innovazione produttiva e sfruttamento di risorse biologiche ecocompatibili ✓ Valorizzazione di materiale organico di scarto | <p style="text-align: center;">Weaknesses (punti di debolezza nel breve periodo)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Eventuali problematiche tecniche legate al processamento, alla funzionalizzazione ed alla caratterizzazione degli scarti biologici utilizzati (da risolvere grazie all'esperienza e le competenze del personale di ricerca coinvolto) |
| <p style="text-align: center;">Opportunities (opportunità nel medio-lungo periodo)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Minimizzazione rifiuti biologici provenienti da attività del settore agroalimentare ✓ Riduzione dell'inquinamento prodotto dall'uso di fertilizzanti e pesticidi in agricoltura ✓ Contributo al raggiungimento degli obiettivi nazionali in materia di economia circolare e trattamento rifiuti ✓ Rafforzamento filiera locale di gestione rifiuti del settore agroalimentare ✓ Innovazione del processo produttivo delle aziende coinvolte ✓ Contributo alla crescita/innovazione sostenibile dei settori afferenti alla bioeconomia | <p style="text-align: center;">Threats (minacce nel medio-lungo periodo)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Assoluta rispondenza dei prodotti realizzati attraverso l'ecodesign in progettazione alle esigenze di carattere tecnico, da verificare attraverso specifici test tecnici e di mercato ✓ Costi per innovazioni di processo (nell'ambito del trasferimento dei risultati su scala industriale) |

Fig. 2 – L'analisi S.W.O.T. relativa a TERRE consente di rilevare sinteticamente le principali caratteristiche, i vantaggi attesi e le possibili criticità connesse all'implementazione delle attività progettuali previste, con un orizzonte temporale sia di breve che di medio-lungo periodo (>5 anni)

TERRE è caratterizzato da un approccio sistemico volto alla valorizzazione di scarti di natura organica nonché all'innovazione dei cicli produttivi in applicazione dei principi e dei fondamenti propri dell'economia circolare. Tale approccio è da considerarsi ancora più virtuoso in quanto gli output del progetto terre trovano uno sbocco di mercato, dando luogo ad una valorizzazione degli scarti selezionati (c.d. upcycling). Il recupero di sostanze da scarti agro-alimentari e agro-industriali consentirà di restituire valore a tali scarti non solo prolungandone il ciclo vitale ma assegnando ad essi anche un notevole valore aggiunto costituito dalla loro partecipazione a prodotti funzionali avanzati (bio)tecnologici non presenti sul mercato. Inoltre, dagli scarti agroalimentari verranno creati prodotti riutilizzabili nello stesso contesto produttivo da cui sono stati generati (coltivazione agricola → scarto agricolo → ESNf → coltivazione agricola), con un utilizzo cioè tipologicamente identico a quello originario.

3. Conclusioni

Il progetto “TERRE” mira alla prevenzione ed alla minimizzazione del rifiuto, attraverso una progettazione ispirata all'ecodesign. Il progetto, da un lato, permetterà la rivalutazione di scarti organici di varia origine, selezionati in base al loro grado di disponibilità temporale/locale e di problematicità ambientale, da reintrodurre nel ciclo produttivo, dall'altro, consentirà la sostituzione di prodotti tradizionali impattanti con gli output generati.

Il progetto TERRE permetterà il conseguimento di evidenti vantaggi economici e sociali diretti dovuti al risparmio di risorse tradizionali nonché all'azzeramento dei costi di smaltimento. Vi saranno poi dei vantaggi economici indiretti connessi al rafforzamento ed al potenziamento dei settori legati alla bioeconomia. Il principale valore aggiunto di TERRE risiede nel collegare più innovazioni fra loro. In particolare la realizzazione di prodotti (bio)tecnologici efficienti (biofilm/lento rilascio/costo inferiore) creati per supportare la produttività dei sistemi agricoli viene coniugata con la riduzione dell'impatto ambientale (biodiversità, inquinamento, sostenibilità ecc) e con la necessità di prolungare il ciclo vitale dei beni di consumo (bioeconomia/economia sostenibile) restituendo valore a prodotti di scarto (rifiuti).

Bibliografia

- [1] La nuova PAC 2023-2027 – Il piano strategico nazionale dell'Italia – (2020). Coldiretti
- [2] **McKinsey, Ellen MacArthur foundation** (2015). Growth within a circular economy vision for a competitive Europe; <https://ellenmacarthurfoundation.org/growth-within-a-circular-economy-vision-for-a-competitive-europe>
- [3] **Ellen MacArthur foundation** (2013). Towards the circular economy Economic and business rationale for accelerated transition; https://www.werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport_McKinsey-Towards_A_Circular_Economy.pdf
- [4] **Mari M., Macagnano A., Mazziotti C., Renzi M., Spiga O., Santucci A., Fardelli A.** (2021). Exploitation of overrun macroalgae as model to lead the circular economy transition and the bioeconomy growth, CNR press monography; ISBN.978-88-622-4021-5
- [5] **De Cesare F. Di Mattia E., Zussman E., Macagnano A.** (2020). A 3D soil-like nanostructured fabric for the development of bacterial biofilms for agricultural and environmental uses, *Env Sci Nano* 7 (9) 2546-2572
- [6] **Macagnano, A.; Mari, M.; Scarascia-Mugnozza, G. ; De Cesare, F.** (2020). A sustainable model for agriculture based on nanofibrous biodegradable polymers mimicking natural strategies. 22nd EGU General Assembly, held online 4-8 May, 2020, id.19686. DOI. 10.5194/egusphere-egu2020-19686
- [7] **De Cesare, F., Pietrini, F., Zacchini, M., Scarascia Mugnozza, G., Macagnano A.** Catechol-Loading Nanofibrous Membranes for Eco-Friendly Iron Nutrition of Plants (2019) *Nanomaterials* 9(9), 1315; <https://doi.org/10.3390/nano9091315>.

MONITORAGGIO E CONTROLLO AMBIENTALE

EMISSIONI ODORIGENE: DALLE TECNOLOGIE DI ABBATTIMENTO ALLE NUOVE STRATEGIE DI CONTROLLO

Giunto alla dodicesima edizione, il convegno sulle emissioni odorigene di Ecomondo rappresenta un evento di riferimento per la comunità degli operatori del settore. In cui ricercatori, industria, Pubblica Amministrazione ed organizzazioni ambientali portano le proprie esperienze su un tema che sta diventando di grande attualità nella pianificazione ambientale. Come consuetudine, il convegno sarà aperto con l'aggiornamento sui lavori dei comitati tecnici nazionali ed internazionali in merito alla normativa vigente sulle emissioni odorigene. Sono inoltre previsti interventi dei principali enti pubblici di ricerca che operano su questo fronte, la presentazione di casi studio e buone pratiche da parte delle amministrazioni pubbliche, degli enti di controllo e delle imprese che sviluppano tecnologie sul tema.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo & ISPRA, Società Chimica Italiana, Divisione di Chimica dell'Ambiente e dei Beni Culturali**

Presidenti di sessione:

Gianluigi de Gennaro, Università di Bari Aldo Moro

Lucia Muto, ISPRA

Gaetano Settimo, Istituto Superiore di Sanità

Nuove frontiere nella caratterizzazione delle emissioni odorigene da cumuli di biomassa legnosa

*Francesca Tagliaferri francesca.tagliaferri@polimi.it, Marzio Invernizzi, Selena Sironi
Politecnico di Milano, Milano*

Riassunto

La produzione di energia rinnovabile da biomassa legnosa costituisce una risorsa sempre più importante negli ultimi decenni. D'altro canto, uno stoccaggio prolungato della biomassa ligno-cellulosica, solitamente organizzato in cumuli esposti all'atmosfera, può comportare emissioni gassose non irrilevanti, a causa dei processi di degradazione chimico-fisici e biologici che intervengono all'interno della biomassa. Il lavoro sperimentale di seguito presentato è finalizzato alla caratterizzazione delle emissioni odorigene derivanti dallo stoccaggio di cumuli di cippato. A tale scopo, sono stati condotti alcuni monitoraggi in campo su cumuli di legno di una centrale termoelettrica italiana con un duplice scopo: inizialmente, valutare il potenziale odorigeno di queste sorgenti e in seguito identificare alcuni parametri (ad esempio, il tempo di stoccaggio, la matrice legnosa, la presenza di fumo) che potrebbero influenzarne il rilascio di odore. Questo studio evidenzia come l'eterogeneità della superficie del cumulo si traduca nella presenza di zone con un diverso carico odorigeno: infatti, mentre le "regioni secche" non sembrano particolarmente significative in termini di emissione di odori, le "regioni fumanti" sono caratterizzate da valori di concentrazione due ordini di grandezza superiori (fino a 200.000 ou_E/m³). Inoltre, la presenza di aree fumanti sembra essere strettamente correlata al tempo di stoccaggio della biomassa mentre la tipologia di matrice legnosa non appare essere una variabile significativa.

Summary

Woody biomass energy is increasingly widespread due to its renewable nature. Before processing, biomass is typically stored in wood heaps located outdoor. A prolonged storage may lead to gaseous emission due to the physicochemical and biological degradations within the biomass. This experimental work focuses on the characterization of odorous emission from wood chips storage. To this purpose, some field measurements have been conducted on wood heaps stored in an Italian thermal power plant to evaluate if they represent a possible significant source of odour and to identify some potential parameters (i.e. storage time, wood matrix, presence of smoke) that may affect the odour release from wood storage. This study reveals the heterogeneity of the heap surface. Infact, while "dry regions" appears not particularly significant in terms of odour emission, "smoking regions" are characterised by odour concentrations values two orders of magnitude higher (and up to 200,000 ouE/m³). The presence of smoking areas seems to be strictly connected to the storage time. On the contrary, the type of wood matrix seems not a crucial variable: no remarkable differences have been identified between heaps with different wood origin.

1. Introduzione

L'energia da biomassa costituisce la principale fonte di energia rinnovabile in Europa [1]: in Italia ci sono 2.753 centrali termiche che lavorano con le biomasse, producendo 19.563 GWh, che corrispondono al 6% del fabbisogno energetico totale italiano. Quasi la metà dell'energia prodotta da questi impianti termici proviene da biomasse solide, ovvero rifiuti o biomasse legnose come carbone vegetale, pellet e cippato. In Europa, il settore delle biomasse solide ha toccato i 100 MTOE (*Million Tonnes of Oil Equivalent*) nel 2017 e ha subito un incremento del 64% dal 2010 al 2020 [2].

Negli ultimi decenni, le centrali a biomassa legnosa stanno acquisendo importanza per ragioni di carattere ambientale e per la possibilità di convertire facilmente alcuni tipi di impianti chimici in centrali a biomassa. Nel 2006, la maggior parte degli impianti italiani di produzione dello zucchero, a causa della riforma del mercato europeo, ha cessato la propria attività ed è stata parzialmente convertita in impianti termici a biomassa.

La crescente domanda di bioenergia si traduce nella necessità di prevedere ampi spazi per lo stoccaggio dei combustibili legnosi [3]. D'altro canto, lo stoccaggio prolungato di cumuli di legno esposti all'atmosfera può comportare delle emissioni gassose non irrilevanti, causa delle degradazioni chimico-fisiche e biologiche che si verificano all'interno della biomassa [4], [5]. Queste emissioni risultano spesso significative anche da un punto di vista di impatto odorigeno considerando che frequentemente vengono rilasciati composti volatili con basse soglie olfattive (es. la classe dei terpeni).

Data la mancanza di studi nella letteratura scientifica, il presente lavoro si propone di caratterizzare le emissioni odorigene derivanti dallo stoccaggio all'aperto di cumuli di cippato. A tale scopo, sono stati condotti alcuni monitoraggi in campo su cumuli di legno stoccati in una centrale termoelettrica italiana, al fine di caratterizzare il potenziale odorigeno di queste sorgenti e identificare alcuni parametri (ad esempio, il tempo di stoccaggio, la matrice del legno, la presenza di fumo) che potrebbero essere correlati alle emissioni di odore.

2. Relazione

2.1 Stato dell'arte

In letteratura sono disponibili alcuni studi relativi alle emissioni gassose da cumuli costituiti da legno tipo *pellet* [4], [6]. Un campo parzialmente inesplorato è quello delle emissioni odorigene derivanti dallo stoccaggio del legno, soprattutto per quanto riguarda il legno di tipo *cippato*.

Esistono diversi processi, chimici o biologici, che possono verificarsi durante lo stoccaggio della biomassa lignocellulosica. Le reazioni chimiche riguardano l'auto-ossidazione degli acidi grassi, che porta alla formazione di aldeidi, chetoni e acidi carbossilici [7] e si verificano principalmente nei primi dieci giorni di stoccaggio. Un altro tipo di reazione chimica è l'autoignizione, che prevede la combustione della biomassa senza la presenza di un innesco. Questo fenomeno è fortemente indesiderato negli impianti termici a biomassa per motivi di sicurezza e per la conseguente perdita di potere calorifico [8]. L'autoignizione è un fenomeno indotto dalle alte temperature: in particolare, la probabilità di verificarsi diventa considerevole quando la temperatura raggiunge circa 70°C.

I processi biologici sono invece reazioni di degradazione organica dovute all'attività batterica sia in presenza che in assenza di ossigeno [9]. Le degradazioni aerobiche avvengono in due fasi, la prima dovuta ai batteri mesofili, che portano ad un aumento della temperatura fino a 40°C. La seconda fase è quella termofila, che inizia a 40°C e termina a circa 70°C [10], quando la temperatura è sufficientemente alta da inibire qualsiasi attività batterica. I batteri mesofili dovrebbero terminare la loro attività in un arco di tempo

compreso tra i 2 e i 7 giorni, mentre la conseguente fase termofila inizia a partire da 7 giorni fino a 2 mesi [11].

La sequenza e la tempistica dei processi chimici e biologici è complessa e non è descritta in dettaglio in letteratura. Ciononostante, è possibile affermare che le reazioni biologiche possono fungere da innesco per le reazioni chimiche, ad esempio l'autoaccensione, dal momento che favoriscono un incremento della temperatura [4].

2.2 Materiali e metodi

Le superfici emissive oggetto di studio sono costituite dai cumuli di legna stoccati in una centrale termica a biomassa situata nel Nord Italia. Lo stoccaggio è costituito da diversi cumuli di legno, con un'altezza tipica di 5 m, composti da cippato lignocellulosici provenienti da diverse matrici legnose. I cumuli risultano eterogenei tra loro in termini di grado di vuoto della superficie, tempo di stoccaggio, dimensioni caratteristiche del cippato e contenuto di umidità. Il campionamento odorigeno è stato condotto utilizzando una *flux chamber* con un diametro di 0.4 m, in cui è stata insufflata una quantità nota (200 sL/h) di aria neutra. Per favorire la miscelazione del flusso d'aria, durante il campionamento è stato posizionato un piccolo ventilatore portatile all'interno della camera di flusso. Per prelevare il campione gassoso, il flusso proveniente dalla cappa è stato convogliato ad un bag di Nalophan® (3 L) mediante un tubo in PET.

In particolare, l'utilizzo della *flux chamber* è suggerito dalla letteratura per il campionamento delle superfici di discarica [12], [13]. Le sorgenti emissive in questione, così come le superfici di discarica, sono sorgenti piuttosto complesse, in quanto non possono essere classificate come sorgenti areali attive, ovvero dotate di un flusso proprio e superiore a $50 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ [14]. D'altro canto, i cumuli di biomassa legnosa non sono propriamente sorgenti passive, a causa della presenza di possibile flusso, anche se molto limitato, favorito dai processi biologici all'interno del cumulo.

I campioni gassosi sono stati poi analizzati in laboratorio mediante l'olfattometria dinamica [15]. Inoltre, data l'eterogeneità della superficie del cumulo, è consigliabile prelevare più di un campione per ogni sorgente emittente. A questo proposito, poiché nessuna norma tecnica suggerisce un numero adeguato di campioni, sono state effettuate alcune valutazioni direttamente sul campo in base alle caratteristiche specifiche della superficie dei cumuli, in modo da caratterizzare in maniera puntuale la variabilità della sorgente emittente (come discusso nel paragrafo successivo) e ottenere quindi risultati rappresentativi.

Un ulteriore aspetto degno di nota riguarda il corretto posizionamento della *flux chamber*, tenendo conto di un possibile "effetto camino", discusso in letteratura. A causa di ciò, le molecole gassose potrebbero seguire dei percorsi preferenziali all'interno dei cumuli, favorendo l'emissione soprattutto nella porzione superiore dei cumuli [16]. Pertanto, il dispositivo di campionamento è stato posizionato sulla sommità del cumulo di legno.

Sono state condotte due campagne olfattometrica, la prima in ottobre e la seconda in marzo, entrambe della durata di due giorni.

3. Risultati

Il primo risultato osservato direttamente in campo (e poi confermato dalle risultanze numeriche) riguarda l'eterogeneità della superficie del cumulo, in corrispondenza della quale è possibile distinguere delle zone "fumanti", ovvero caratterizzate dalla presenza di fumo chiaramente visibile e tipicamente con una superficie che appare umida, e zone "secche", prive di fumo visibile e con una superficie completamente asciutta. Si è inoltre riscontrato come la distribuzione di queste zone appaia differenti tra i diversi cumuli (alcune superfici quasi completamente interessate da zone fumanti, in altre le zone fumanti sono strettamente

localizzate o assenti). La ragione principale è probabilmente ascrivibile alla diversa età del cumulo, ovvero il tempo di stoccaggio della biomassa: cumuli stoccati da più di 100-150 giorni non presentano alcuna zona fumante o, in alcuni casi, sono presenti solo in aree localizzate e in modo meno accentuato.

Il risultato più significativo ai fini dello studio riguarda la possibile correlazione che sembra emergere tra le elevate concentrazioni di odore e la presenza di zone fumanti. Di conseguenza, si suppone che il tempo di stoccaggio sia un fattore chiave per lo studio delle emissioni gassose e in particolare per quelle odorogene.

D'altro canto, la matrice legnosa non appare invece rilevante: non sono state individuate differenze significative tra cumuli di pioppo, frutteto e legno forestale.

Nella tabella seguente (Tab. 1) vengono riportati la concentrazione di odore, la matrice e il tempo di stoccaggio per ogni campione raccolto nella prima (ottobre 2021) e nella seconda campagna (marzo 2022).

| Campagna | Campione | Concentrazione di odore [ou _E / m ³] | Matrice | Tempo di stoccaggio [giorni] |
|----------|--------------------|---|-------------|------------------------------|
| Prima | Cumulo 5 – Secco | 300 | Forestale | 70 |
| Prima | Cumulo 5 – Secco | 130 | Forestale | 70 |
| Prima | Cumulo 5 – Fumante | 350000 | Forestale | 70 |
| Prima | Cumulo 7 – Secco | 64 | Forestale | 90 |
| Prima | Cumulo 4 – Secco | 91 | Forestale | 70 |
| Prima | Cumulo 4 – Fumante | 1100 | Forestale | 70 |
| Prima | Cumulo 3 – Secco | 54 | Forestale | 45 |
| Prima | Cumulo 3 – Fumante | 1000 | Forestale | 45 |
| Prima | Cumulo 8 – Fumante | 860 | Frutteto | 50 |
| Seconda | Cumulo 2 – Secco | 38 | Forestale | 210 |
| Seconda | Cumulo 2 – Fumante | 110 | Forestale | 210 |
| Seconda | Cumulo 6 – Secco | 40 | Forestale | 150 |
| Seconda | Cumulo 6 – Fumante | 540 | Forestale | 120 |
| Seconda | Cumulo 5 – Secco | 300 | Forestale | 80 |
| Seconda | Cumulo 5 – Fumante | 650 | Forestale | 30 |
| Seconda | Cumulo 5 – Fumante | 37000 | Forestale | 30 |
| Seconda | Cumulo 1 – Secco | 220 | Pioppo | 15 |
| Seconda | Cumulo 1 – Fumante | 13000 | Pioppo | 15 |
| Seconda | Cumulo 1 – Secco | 1800 | Forestale – | 45 |
| Seconda | Cumulo 1 – Fumante | 27000 | combusto* | 45 |
| Seconda | Cumulo 4 – Fumante | 9700 | Forestale – | 7 |
| Seconda | Cumulo 4 – Secco | 3000 | combusto* | 0 |
| | | | Forestale | |
| | | | Forestale | |

Tab. 1 – Risultanze delle campagne olfattometriche condotte presso l'impianto

* Una porzione del cumulo 1 è stata oggetto di combustione due mesi prima della seconda campagna

Dai valori di concentrazione odorigena riportati nella Tab. 1, è possibile riscontrare una notevole differenza tra le zone fumanti e quelle secche, anche all'interno dello stesso cumulo. Come detto, ciò non vale per la matrice legnosa.

Per quanto riguarda l'influenza del tempo di stoccaggio, è possibile notare che i cumuli stoccati per un tempo superiore a 150 giorni sono caratterizzati da basse concentrazioni di odore. Per chiarire questo aspetto, la Fig. 1 riporta l'andamento della concentrazione di odori in funzione del tempo di stoccaggio, rispettivamente per le zone secche e per quelle fumanti.

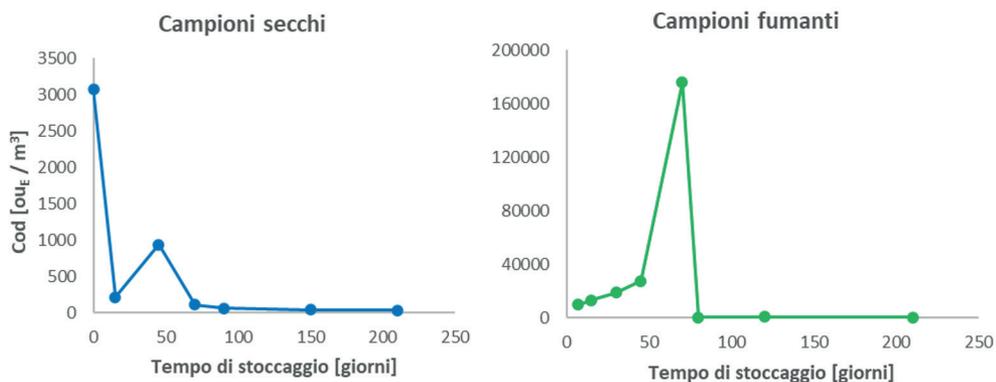


Fig. 1 – Concentrazione di odore (C_{od}) vs tempo di stoccaggio per le regioni secche (in blu) e fumanti (in verde)

Confrontando i due grafici, si osserva come i valori di concentrazione di odore rilevati per le zone fumanti siano due ordini di grandezza superiori rispetto a quelli rilevati per le zone secche. Infatti, escludendo i cumuli con tempi di stoccaggio superiori a 80/90 giorni per i quali, come discusso in seguito, le concentrazioni di odore sono generalmente basse, per le regioni secche la concentrazione rientra nell'intervallo 100 ou_E/m³ - 3.000 ou_E/m³. Al contrario, nel caso di zone fumanti, aumenta fino a 10.000 ou_E/m³ - 200.000 ou_E/m³.

Inoltre, è interessante osservare l'andamento della concentrazione di odore in funzione del tempo. Le zone secche presentano un picco se si considera il campione prelevato nel momento della discarica della biomassa (cumulo 4 - secco). L'elevato valore di concentrazione di odore è probabilmente ascrivibile al rilascio di monoterpeni [17], che sono componenti leggeri e volatili della resina del legno, spesso responsabili dell'emissione di odori, e il loro rilascio avviene tipicamente nei primi giorni dello stoccaggio. D'altra parte, per le zone fumanti non si dispone di alcun campione con tempo di stoccaggio inferiore a 7 giorni poiché non è stato possibile identificare zone fumanti sui cumuli più "giovani" a causa del tempo caratteristico dei processi chimici e biologici responsabili della presenza di fumo.

In ogni caso, esclusi i primi giorni di stoccaggio, la concentrazione di odore sembra avere un andamento non monotono con il tempo di stoccaggio, mostrando un massimo tra i 30 e i 75 giorni. Questa considerazione vale sia per le regioni secche che per quelle fumanti. Ciò appare coerente con gli studi di letteratura: infatti, il picco di concentrazione, rilevato dopo 45 giorni per le zone secche e dopo 70 giorni per le zone fumanti, può essere spiegato considerando l'intervallo temporale (7 giorni - 2 mesi) in cui i batteri aerobici termofili esauriscono la loro attività incrementando la temperatura fino a circa 70 °C e promuovendo quindi l'emissione odorigena.

Quando il tempo di stoccaggio risulta superiore a 80/90 giorni, le concentrazioni di odore sono significativamente più basse (inferiori a 1000 ou_E/m³ per le aree fumanti e a 100 ou_E/m³ per le aree secche) probabilmente a causa della limitata attività chimica e biologica che, secondo la letteratura, viene significativamente ridotta dopo due mesi.

4. Conclusioni

La caratterizzazione delle emissioni odorigene provenienti da cumuli di biomassa lignocellulosica è complessa e di non banale comprensione tenuto conto dei numerosi processi chimici e biologici caratteristici dei cumuli e in merito ai quali la letteratura disponibile non è pienamente esaustiva.

Un'ulteriore complessità è legata al fatto che frequentemente i cumuli di cippato presentano

una superficie eterogenea, caratterizzata da un'alternanza di zone "fumanti", caratterizzate dalla presenza di fumo e da una superficie umida, e di zone "secche".

I dati sperimentali ottenuti dallo studio mostrano delle discrepanze fino a due ordini di grandezza, in termini di concentrazione di odore, tra le aree fumanti e quelle secche, con valori anche superiori a 100.000 ou_E/m³ per le zone fumanti. Pertanto, vale la pena prestare particolare attenzione a queste aree non solo per un possibile impatto odorigeno, ma anche per l'eventuale presenza di fenomeni di autoignizione del legno. In aggiunta, l'eterogeneità della superficie evidenzia l'importanza di raccogliere un numero sufficiente di campioni per caratterizzare in maniera esaustiva la superficie non limitandosi alla stima di un flusso odorigeno medio, ma distinguendo puntualmente tra le diverse aree.

Un altro risultato significativo riguarda l'influenza del tempo di stoccaggio come parametro chiave per le emissioni di odore. A questo proposito, l'andamento della concentrazione di odore nel tempo appare coerente rispetto alla sequenza dei processi biologici e chimici riportati in letteratura.

Data la complessità delle sorgenti in questione, sarebbe opportuno incrementare il dataset a disposizione con ulteriori risultati sperimentali che possano caratterizzare al meglio l'influenza del tempo di stoccaggio sulla concentrazione di odori e permettere l'identificazione di una eventuale correlazione tra le due variabili.

Inoltre, un possibile sviluppo del lavoro dovrebbe essere focalizzato al monitoraggio di altri parametri chimici e fisici, come la temperatura e l'umidità dei cumuli di legno o la composizione chimica delle emissioni gassose, così da individuare quelli maggiormente correlabili alle emissioni odorigene.

Bibliografia

- [1] **European Commission, J. R. C.** "Brief on biomass for energy in the European Union", Publications Office, 2019.
- [2] **EurObserv'ER.** "Biofuels Barometer". 1–14, 2018.
- [3] **He, X., Lau, A. K., & Sokhansanj, S.** "Effect of Moisture on Gas Emissions from Stored," *Energies*, 2020.
- [4] **Alakoski, E., Jämsén, M., Agar, D., Tampio, E., & Wihersaari, M.** "From wood pellets to wood chips, risks of degradation and emissions from the storage of woody biomass - A short review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 376–383, 2016.
- [5] **Eriksson, L., & Gustavsson, L.** "Comparative analysis of wood chips and bundles - Costs, carbon dioxide emissions, dry-matter losses and allergic reactions," *Biomass and Bioenergy*, 34(1), 82–90, 2010.
- [6] **Tumuluru, J. S., Lim, C. J., Bi, X. T., Kuang, X., Melin, S., Yazdanpanah, F., & Sokhansanj, S.** "Analysis on Storage Off-Gas Emissions from Woody, Herbaceous, and Torrefied Biomass". 2015.
- [7] **Bulian, F.** "Le emissioni di sostanze organiche volatili dal legno e dai suoi derivati". 1–4. 2021.
- [8] **Whittaker, C., Yates, N., & Shield, I.** "Streamlining the supply chain: greenhouse gas emissions and dry matter losses". 2014
- [9] **Holighaus, G., Versuchsanstalt, N. F., & Thakeow, P.** "Wood production, wood technology, and biotechnological impacts," *Wood Production, Wood Technology, and Biotechnological Impacts*, 2017.
- [10] **Sommer, S. G., & Møller, H. B.** "Emission of greenhouse gases during composting of deep litter from pig production - Effect of straw content," *Journal of Agricultural Science*, 134(3), 327–335, 2020.
- [11] **Anerud, E., Larsson, G., & Eliasson, L.** "Storage of wood chips: Effect of chip size on storage properties," *Croatian Journal of Forest Engineering*, 41(2), 277–286, 2020.
- [12] **Lucernoni, F., Capelli, L., & Sironi, S.** "Comparison of different approaches for the estimation of odour emissions from landfill surfaces," *Waste Management*, 63, 345–353, 2017.
- [13] **Tagliaferri, F., Invernizzi, M., Sironi, S., & Capelli, L.** "Influence of modelling choices on the results of landfill odour dispersion," *Detritus*, 12, 92–99, 2020.
- [14] **VDI3880.** "VDI 3880, Olfactometry – Static Sampling". 2011.

- [15] **CEN**, “pr-EN 13725:2018 - Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry and odour emission rate from stationary by sources - Complementary element”, 2018.
- [16] **Whittaker, C., Yates, N. E., Powers, S. J., Donovan, N., Misselbrook, T., & Shield, I.** “Testing the Use of Static Chamber Boxes to Monitor Greenhouse Gas Emissions from Wood Chip Storage Heaps,” *Bioenergy Research*, 10(2), 353–362, 2017.
- [17] **Bulian, F., & Fragassa, C.** “VOC Emissions From Wood Products and Furniture : a Survey About Legislation , Standards and Measures Referred to Different Materials VOC Emissions From Wood Products and Furniture : a Survey About Legislation , Standards and Measures Referred to Different”. August. 2016.

Analisi chimica di composti odorigeni mediante TD-GC-MS/FID/PFPD

*Elisa Polvara*¹ elisa.polvara@polimi.it, *Daniele Morosini*²,
*Marzio Invernizzi*¹, *Selena Sironi*¹

(1) Politecnico di Milano, Milano (MI); (2) SRA Instruments S.p.A., Cernusco sul Naviglio (MI)

Riassunto

In questo studio si vuole presentare l'applicazione di un gascromatografo dotato di tre rivelatori in parallelo per l'analisi di miscele odorigene. Nello studio, è stato utilizzato un gascromatografo Agilent (mod. 8890), dotato di uno spettrometro di massa (Agilent 5977B MSD), un rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID, Agilent) e un rivelatore fotometrico a fiamma pulsata (PFPD, OI Analytical mod. 5833). Questo sistema consente la contemporanea acquisizione dei segnali generati dai 3 diversi rivelatori. La ripartizione del campione nei tre rivelatori viene effettuata alla fine della colonna cromatografica, mediante uno splitter a tecnologia di flusso capillare (Agilent Splitter CFT). Utilizzando questo strumento è stato possibile ottenere la rilevazione e la quantificazione specifica di composti organici mediante analisi FID, di composti solforati mediante PFPD e l'identificazione dei composti non noti mediante analisi MS, attraverso il confronto con gli spettri di massa. Sulla base dei risultati preliminari ottenuti e qui presentati, la sua applicazione all'analisi di campioni odorigeni permette la determinazione di classi specifiche di composti, anche qualora presenti in tracce. Questa combinazione consente un significativo risparmio di tempo e di costi nella calibrazione e nell'analisi dei dati cromatografici.

Summary

This work aims to present the applicability of a gas chromatograph equipped with three detectors for the analysis of odorous mixtures. An Agilent gas chromatograph (mod. 8890), equipped with a mass spectrometer (Agilent 5977B MSD), a Flame Ionization Detector (FID, Agilent) and a Pulsed Flame Photometric Detector (PFPD, OI Analytical mod. 5833) was adopted, obtaining simultaneous acquisition with MS, FID and PFPD detectors. The splitting of the sample into the three detectors was carried out at the end of the chromatographic column, by a capillary flow technology splitter (Agilent Splitter CFT). By using this system, it is, therefore, possible to achieve the specific detection and quantification of organic compounds by FID analysis, sulphur compounds by PFPD and the identification of the compounds by MS analysis, via comparison with mass spectra. Based on the preliminary outcomes obtained, the application of this system in the analysis of odour samples enabled the determination of specific classes, even in traces: by this, the subsequent identification of these compounds during a single chromatographic run is possible. This combination provides significant time and costs savings in the calibration and analysis of chromatographic data.

1. Introduzione

L'odore è una matrice complessa da caratterizzare chimicamente a causa dell'elevata eterogeneità delle molecole in essa presenti e, spesso, l'analisi è di tipo *untargeted*, dunque non mirata

al riconoscimento/quantificazione di un uno specifico numero di sostanze. Infatti, generalmente lo scopo dell'analisi chimica di una emissione odorigena è propriamente l'identificazione delle molecole responsabili dell'odore, mediante uno screening di tutte le molecole presenti. Per caratterizzare chimicamente le emissioni odorigene, la tecnica analitica più diffusa è la gascromatografia accoppiata alla spettrometria di massa (GC-MS), solitamente utilizzata in modalità *total ion current* (TIC). Nonostante le potenzialità di questa tecnica (cioè l'identificazione di molecole sconosciute), essa presenta alcuni aspetti critici, in particolare correlati alla quantificazione dei composti e al rilevamento di specifiche classi di molecole. A causa di diverse criticità tecniche (composizione non nota, numero di molecole potenzialmente molto numeroso, risoluzione dell'intera miscela, infattibilità di reperire e utilizzare standard calibranti per ogni molecola presente nel campione[1]–[3]), la quantificazione effettuata mediante analisi GC-MS è spesso più propriamente definibile come una *semi-quantificazione*, dove viene utilizzata la curva di calibrazione di un singolo composto per la quantificazione di un gruppo di sostanze chimiche[4]–[6]seasonal, and pre-treatment. Tuttavia, con uno spettrometro di massa come detector, il segnale prodotto da una molecola è strettamente legato alla sua struttura[7], [8]. Perciò, una semi-quantificazione dei composti rilevati mediante GC-MS può portare a un errore potenzialmente non trascurabile[9]. Oltre a ciò, lo spettrometro di massa, utilizzato in modalità TIC, è un detector non specifico e, nel caso di specifiche classi di composti, ad esempio i composti solforati, potrebbe non essere efficace nella loro determinazione e avere peggiori prestazioni (in termini di linearità, LOD e selettività) rispetto ad altri rivelatori[10], [11]source rocks, and environmental samples and are used as markers for many properties of petroleum such as indicators for source rocks (carbonate vs siliciclastic. Per tutte queste ragioni, la sola GC-MS applicata all'analisi *untargeted* di campioni di emissione odorigena potrebbe non essere sufficiente per l'ottenimento di una più completa caratterizzazione chimica. Per superare tali criticità, una possibile soluzione appare la combinazione di diversi detector per rilevare e quantificare contemporaneamente tutte le sostanze chimiche potenzialmente presenti nelle emissioni odorose. Nello specifico, l'uso di rivelatori basati sulla risposta di specifici elementi e relativamente più semplici appare una alternativa più efficace. In particolare, per la quantificazione dei composti organici, il rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID) sembra la soluzione ideale per una quantificazione più robusta dei composti a base di carbonio (i.e. idrocarburi), spesso presenti nelle miscele odorose. Lo stesso può essere effettuato per la quantificazione di composti solforati, particolarmente interessanti dal punto di vista dell'impatto olfattivo: anche per questi composti, l'utilizzo di un detector specifico e selettivo, quale il rivelatore fotometrico a fiamma pulsata (PFPD), permette non solo la loro specifica rilevazione, ma anche una quantificazione più robusta dei composti contenenti zolfo. Il PFPD fornisce infatti una risposta equimolare, indipendentemente dalla struttura molecolare, ed è altamente sensibile [12]. Pertanto, l'utilizzo di questi detector in combinazione con uno spettrometro di massa consente di quantificare le molecole presenti nei campioni utilizzando il fattore di risposta del singolo composto [13]: in questo modo, pur utilizzando una semi-quantificazione, è possibile avere vantaggi in termini di risparmio di tempo e di costi, riducendo insieme anche l'errore di quantificazione.

2. Relazione

Questo studio si propone di valutare l'applicabilità nell'analisi di reali campioni odorigeni di un gascromatografo dotato di tre rivelatori in parallelo: uno spettrometro di massa (MS), un rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID) e un rivelatore fotometrico a fiamma pulsata (PFPD). In particolare, questo studio si propone di valutare l'utilità di questo sistema nell'ottenimento della caratterizzazione più completa possibile di miscele odorigene, considerando gli aspetti critici precedentemente descritti.

2.1 Materiale e metodi

2.1.1 Campionamento

I campioni sono stati prelevati presso un impianto di trattamento delle acque reflue civili (WWTP). Durante questo studio, sono stati raccolti tre campioni dallo stesso punto di campionamento, utilizzando bag di Nalophan™ (6 L), in accordo con la norma EN 13725:2022[14]. Questi materiali sono inodori e vengono comunemente utilizzati in olfattometria dinamica: l'uso di questi materiali consente dunque di eseguire contemporaneamente analisi chimiche e olfattometriche. I campioni d'aria sono stati raccolti utilizzando una pompa a vuoto e successivamente analizzati mediante analisi GC nello stesso giorno del campionamento.

2.1.2 Strumentazione analitica

L'analisi dei campioni è stata condotta mediante un gascromatografo (Agilent, mod. 8890), dotato di uno spettrometro di massa a singolo quadrupolo (Agilent 5977B MSD), un rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID, Agilent) e un rivelatore fotometrico a fiamma pulsata (PFPD, OI Analytical mod. OI 5833). Questa combinazione è stata adottata per ottenere la rivelazione e la quantificazione specifica dei composti organici mediante analisi FID, dei composti solforati mediante PFPD e l'identificazione dei composti, mediante analisi MS, confrontando gli spettri generati con quelli di libreria. Il campione viene aspirato direttamente dalla sacca di Nalophan™ mediante una pompa. La presenza di un *mass flow controller* in linea permette il campionamento di volumi noti di campione gassoso direttamente sulla trappola fredda, mantenuta a -27°C mediante un raffreddatore Peltier (Markes, Unity-xr). Prima del desorbimento termico la trappola viene sottoposta a specifici cicli di purging con gas inerte al fine di eliminare l'umidità eventualmente raccolta sulla trappola e l'ossigeno presente nella stessa. La trappola viene quindi riscaldata da -27°C a 300°C in maniera balistica per il desorbimento degli analiti crio-focalizzati sulla stessa e il trasferimento in banda stretta in testa alla colonna analitica (DB-Sulfur SCD, 60 m×0,320 mm×4,20 µm, Agilent J&W, Folsom, CA, USA) tramite transferline inerte riscaldata (200°C). La colonna cromatografica termina su una piastrina di microfluidica a tecnologia di flusso capillare (Agilent Splitter CFT) che permette di suddividere il flusso di gas equamente tra i tre rivelatori. Pertanto, viene effettuata un'acquisizione simultanea con i rivelatori MS (operante in modalità SCAN), FID e PFPD e vengono contemporaneamente registrati i tre cromatogrammi relativi a ciascun detector per ogni singolo campione. Lo spettrometro di massa è stato impostato con: rapporto m/z compreso tra 40 e 350 uma e *solvent delay* pari a 3,5 min. La temperatura è stata settata per il FID a 150°C e per il PFPD a 100°C. L'identificazione dei composti è stata condotta confrontando gli spettri ottenuti dalle analisi GC-MS con il database NIST20 (NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library, Version 2.4 Mar 25 2020).

3. Risultati

Nel cromatogramma GC-MS (TIC – analisi *untargeted*), riportato in Fig. 1, sono stati rilevati solamente due picchi cromatografici (tempo di ritenzione, RT= 5,6 e 6,7 min.), identificati rispettivamente come acetone e dimetil solfuro. In maniera analoga, anche il cromatogramma GC-FID (Fig. 2) presenta solo due picchi ai medesimi RT, mentre, dal cromatogramma GC-PFPD, sono stati osservati diversi picchi cromatografici: nello specifico, è possibile individuare cinque picchi relativi ad altrettante sostanze solforate (Fig. 3). La loro identificazione è stata effettuata ricercando, allo stesso RT osservato nel cromatogramma GC-PFPD, lo spettro di massa utile all'identificazione della specifica molecola nel cromatogramma GC-MS, aiutandosi per l'identificazione con l'ausilio dello ione qualificatore. Dai risultati ottenuti, è possibile affermare che il sistema analitico proposto permette di ottenere informazioni qualitative utili

per la caratterizzazione delle miscele di odori, riducendo al minimo il tempo di analisi richiesto. Infatti, utilizzando rivelatori specifici (FID e PFPD) è possibile rilevare selettivamente specifiche classi di composti. Questi vengono poi identificati non solo mediante il confronto dei tempi di ritenzione ma, molto più facilmente, immediatamente identificati confrontando gli spettri di massa con la libreria NIST. La quantificazione dei composti è stata condotta calibrando FID e PFPD, in termini di mg/m^3 rispettivamente di carbonio e zolfo, poi riportate alla concentrazione del composto identificato. In tabella (Tab. 1) sono riportate le concentrazioni dei composti osservati, espresse in mg/m^3 : per ogni composto è stato anche stabilito il suo valore di *odour activity value* (OAV), calcolata come la concentrazione misurata diviso la soglia di percezione (o *odour threshold*, OT) del composto [15]. Gli OT riportati sono tratti da [16].

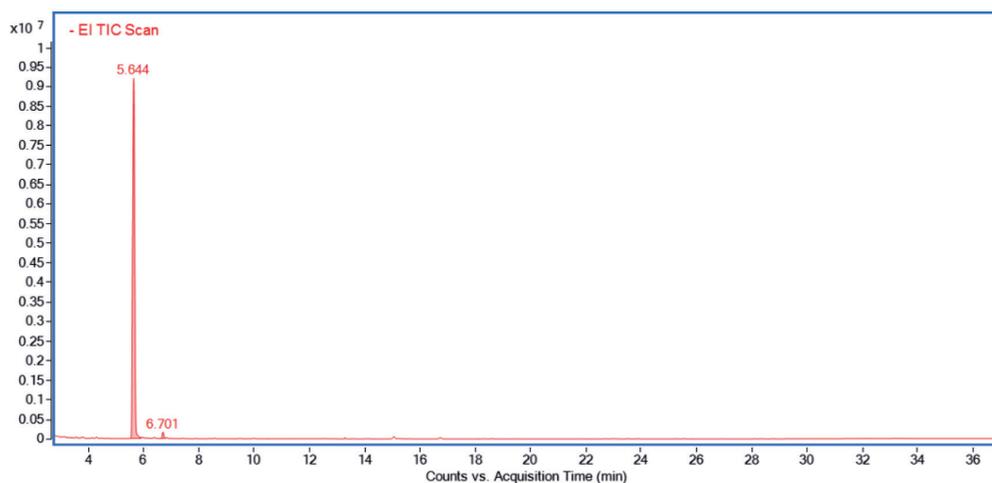


Fig. 1 – Cromatogramma GC-MS del campione (TIC mode)

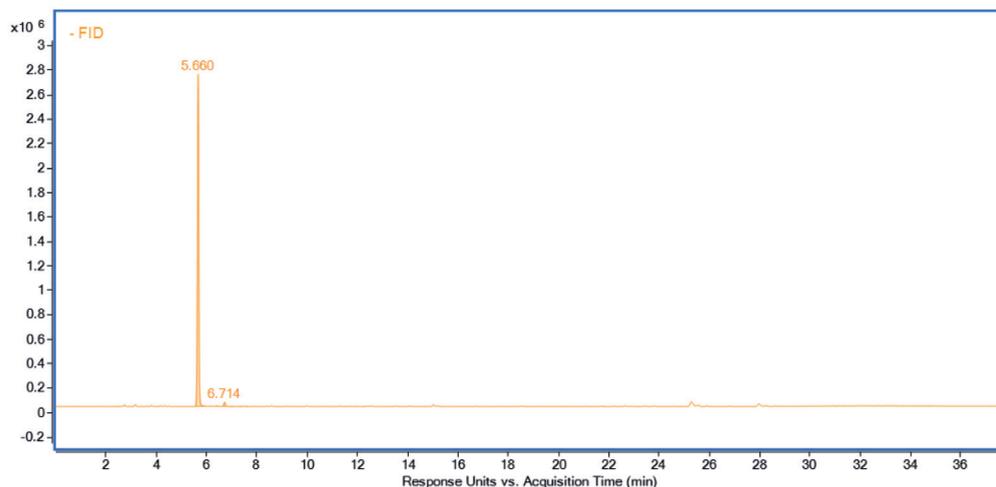


Fig. 2 – Cromatogramma GC-FID del campione –composti organici

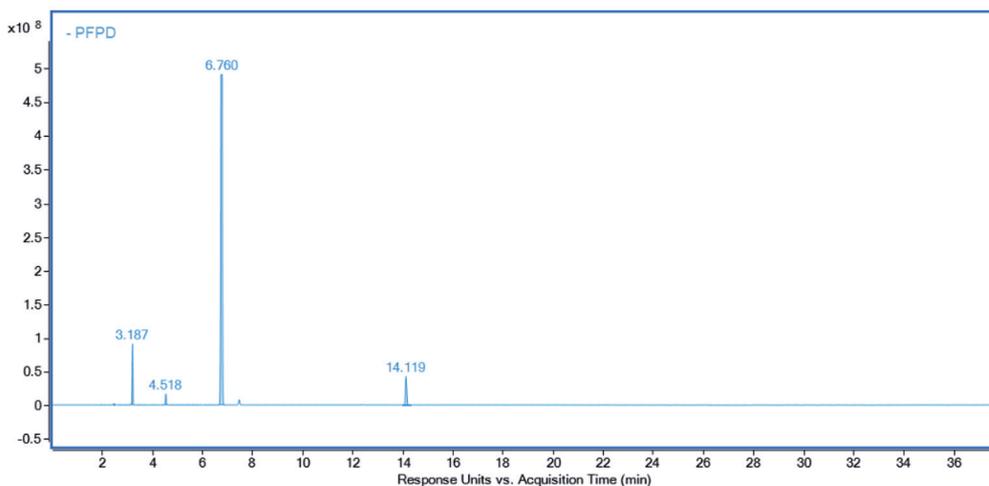


Fig. 3 – Cromatogramma GC-PFPD del campione –composti solforati

| Composto identificato | OT [mg/m ³] | C [mg/m ³] | OAV |
|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-------|
| Carbonyl sulphide | 1.4E-01 | 0.03 | 0.21 |
| Methyl mercaptan | 1.4E-04 | 0.01 | 71 |
| Acetone | 1.0E+02 | 15 | 0.15 |
| Dimethyl sulphide (DMS) | 7.6E-03 | 0.11 | 14 |
| Carbon Disulphide | 6.5E-01 | 0.003 | 0.005 |
| Dimethyl disulphide (DMDS) | 8.5E-03 | 0.02 | 2.35 |

Tab. 1 – Concentrazione dei composti ottenuta mediante FID e PFPD

Dai valori di OAV ottenuti si evidenzia che i composti solforati rilevati nel cromatogramma del PFPD hanno un impatto odorigeno non trascurabile (i.e. un OAV più elevato). Pertanto, dai risultati ottenuti, è possibile affermare che la strumentazione analitica adottata consenta una migliore descrizione delle caratteristiche chimiche delle emissioni odorigene indagate, permettendo di ottenere una più completa descrizione chimica delle emissioni odorose.

4. Conclusioni

L'analisi di campioni di emissioni odorigene rappresenta ancora una sfida dal punto di vista tecnico. Infatti, a causa della complessità della matrice, è necessario un approccio analitico combinato per ottenere, in modo più efficiente, la caratterizzazione chimica più completa possibile. La combinazione di più rivelatori è uno degli strumenti più utili per massimizzare la quantità di informazioni ottenibili nel minor tempo di analisi. L'applicazione del sistema GC-MS/FID/PFPD ha dimostrato, seppur in maniera preliminare, il suo potenziale: utilizzando questo sistema è stato infatti possibile rilevare selettivamente composti di particolare interesse dal punto di vista dell'odore (i.e. composti solforati, caratterizzati da un impatto odorigeno non trascurabile). Dai risultati ottenuti, è emerso che questi composti non sarebbero stati rilevati solamente mediante una generica analisi MS non mirata. Questa combinazione riduce indubbiamente il tempo di analisi, semplifica l'identificazione dei composti e fornisce infor-

mazioni chimiche più complete. Inoltre, per quanto riguarda la quantificazione dei composti rilevati, l'uso di rivelatori come FID e PFPD permette di contenere i costi associati alle calibrazioni (utilizzando rette di calibrazioni per classi di composti), consentendo al tempo stesso un minor errore strumentale. Pertanto, la combinazione di questi tre rivelatori fornisce contemporaneamente diverse informazioni, utili per la caratterizzazione chimica completa di miscele complesse, come gli odori, risparmiando molto tempo e aumentando l'efficienza e la qualità dell'analisi.

Bibliografia

- [1] **K. R. Murphy, P. Wenig, G. Parcsi, T. Skov, R. M. Stuetz**, "Characterizing odorous emissions using new software for identifying peaks in chemometric models of gas chromatography-mass spectrometry datasets," *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, vol. 118, pp. 41–50, Aug. 2012.
- [2] **M. F. D'Agostino, J. Sanz, I. Martínez-Castro, A. M. Giuffrè, V. Sicari, A. C. Soria**, "Statistical analysis for improving data precision in the SPME GC-MS analysis of blackberry (*Rubus ulmifolius* Schott) volatiles," *Talanta*, vol. 125, pp. 248–256, Jul. 2014.
- [3] **A. Raffo, M. Masci, E. Moneta, S. Nicoli, J. Sánchez del Pulgar, F. Paoletti**, "Characterization of volatiles and identification of odor-active compounds of rocket leaves," *Food Chem.*, vol. 240, pp. 1161–1170, Feb. 2018.
- [4] **N. H. Kamarulzaman, N. Le-Minh, R. M. Fisher, R. M. Stuetz**, "Quantification of VOCs and the development of odour wheels for rubber processing," *Sci. Total Environ.*, vol. 657, pp. 154–168, 2019.
- [5] **S. Rice, N. Lutt, J. A. Koziel, M. Dharmadhikari, A. Fennell**, "Determination of Selected Aromas in Marquette and Frontenac Wine Using Headspace-SPME Coupled with GC-MS and Simultaneous Olfactometry," *Sep. 2018, Vol. 5, Page 20*, vol. 5, no. 1, p. 20, Mar. 2018.
- [6] **A. Spinazzè, E. Polvara, A. Cattaneo, M. Invernizzi, D. M. Cavallo, S. Sironi**, "Dynamic Olfactometry and Oil Refinery Odour Samples: Application of a New Method for Occupational Risk Assessment," *Toxics 2022, Vol. 10, Page 202*, vol. 10, no. 5, p. 202, Apr. 2022.
- [7] **Bicchi, C., Liberto, E., Matteodo, M., Sgorbini, B., Mondello, L., Zellner, B. d. A., Costa, R., Rubiolo, P.**, "Quantitative analysis of essential oils: A complex task," *Flavour Fragr. J.*, vol. 23, no. 6, pp. 382–391, 2008.
- [8] **E. Cicchetti, P. Merle, A. Chaintreau**, "Quantitation in gas chromatography: Usual practices and performances of a response factor database," *Flavour Fragr. J.*, vol. 23, no. 6, pp. 450–459, 2008.
- [9] **C. Niemi, S. Lage, F. G. Gentili**, "Comparisons of analysis of fatty acid methyl ester (FAME) of microalgae by chromatographic techniques," *Algal Res.*, vol. 39, p. 101449, May 2019.
- [10] **A. H. Hegazi and J. T. Andersson**, "Limitations to GC-MS determination of sulfur-containing polycyclic aromatic compounds in geochemical, petroleum, and environmental investigations," *Energy and Fuels*, vol. 21, no. 6, pp. 3375–3384, 2007.
- [11] **Yu, P., Yang, Y., Sun, J., Jia, X., Zheng, C., Zhou, Q., Huang, F.**, "Identification of volatile sulfur-containing compounds and the precursor of dimethyl sulfide in cold-pressed rapeseed oil by GC-SCD and UPLC-MS/MS," *Food Chem.*, vol. 367, Jan. 2022.
- [12] **D. Del Río, M. Rey, U. Sedran, G. De La Puente**, "Combined PFPD-FID assessment of sulfur in liquid fuels," *Fuel Process. Technol.*, vol. 92, no. 12, pp. 2278–2284, Dec. 2011.
- [13] **T. Dijkmans, M. R. Djokic, K. M. Van Geem, G. B. Marin**, "Comprehensive compositional analysis of sulfur and nitrogen containing compounds in shale oil using GC x GC - FID/SCD/NCD/TOF-MS," *Fuel*, vol. 140, pp. 398–406, Jan. 2015.
- [14] EN 13725:2022, *Stationary source emissions - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry and odour*. 2022.
- [15] **C. Bax, S. Sironi, L. Capelli**, "How Can Odors Be Measured? An Overview of Methods and Their Applications," *Atmosphere (Basel)*, vol. 11, no. 1, p. 92, Jan. 2020.
- [16] **Y. Nagata**, "Measurement of Odor Threshold by Triangle Odor Bag Method," *Odor Meas. Rev.*, pp. 118–127, 2003.

Il radon negli ambienti di vita confinati e gli interventi di efficientamento energetico degli edifici

Francesca De Maio francesca.demaio@isprambiente.it, Silva Brini, Elisabetta De Maio, Giuliana Giardi, Arianna Lepore, Daniela Santonico - ISPRA Istituto Superiore Protezione e Ricerca Ambientale, Roma
Barbara Castrucci – MiTE Ministero della Transizione Ecologica
Giuditta Garziano - MiTE Ministero della Transizione Ecologica - Assistenza tecnica Sogesid, Roma

Riassunto

Il radon, classificato dalla IARC come cancerogeno umano di gruppo 1, in particolari condizioni tende ad accumularsi negli ambienti di vita confinati. La Direttiva Europea 2013/59/Euratom prevede che gli Stati membri sviluppino Piani d'azione del radon. In attesa della pubblicazione del Piano d'azione italiano, Mite e ISPRA hanno finalizzato un accordo di collaborazione su attività di prevenzione e riduzione del rischio di esposizione al radon indoor; nell'ambito di tale accordo, è stata effettuata una revisione della letteratura scientifica in merito alla relazione tra gli interventi di efficientamento energetico e i livelli del radon indoor e il presente articolo ne riporta i risultati preliminari. Dall'analisi della letteratura si rileva che gli interventi di efficientamento energetico, se non associati a misure di mitigazione efficaci, possono determinare in taluni casi un incremento dei livelli di radon indoor.

Summary

Radon, classified by the IARC as a group 1 human carcinogen, tends to accumulate in indoor living environments under particular conditions. The European Directive 2013/59/Euratom requires member States to develop radon Action Plans. Pending the publication of the Italian Action Plan, the Ministry of Ecological Transition (MiTE) and the National Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA) have finalized a collaboration agreement on prevention and reduction of the risk of exposure to radon indoor; as part of this agreement, a review of the scientific literature was carried out on the relationship between energy efficiency interventions and indoor radon levels and this article reports the preliminary results. The analysis of the literature shows that energy efficiency interventions, if not associated with effective mitigation, could lead in certain cases to an increase in indoor radon levels.

1. Introduzione

È noto l'effetto del radon sulla salute: “il radon è la seconda causa di cancro ai polmoni nella popolazione generale, dopo il fumo” [1]. Il Consiglio dell'Unione Europea (2013) ha emanato la Direttiva Europea 2013/59/Euratom che richiama gli Stati ad affrontare il problema del radon sviluppando Piani d'azione nazionali. In vista della finalizzazione e attuazione del Piano nazionale d'azione italiano per il radon, il MiTE ha sottoscritto un accordo con ISPRA per accrescere le conoscenze su tale problematica (revisione letteratura, normativa e buone

partitiche, stesura di linee guida) e aumentare la consapevolezza della popolazione sui rischi conseguenti all'esposizione al radon indoor (progetto *citizen science*). Uno degli obiettivi dell'accordo è raccogliere e analizzare le evidenze scientifiche sulle misure di mitigazione più efficaci nel ridurre le concentrazioni di radon indoor in coerenza con gli interventi di efficientamento energetico.

La permanenza in edifici inadeguatamente progettati e/o realizzati con materiali non idonei, e nei casi in cui gestione e manutenzione non vengono eseguite in maniera corretta e costante, può determinare effetti dannosi sulla salute. Nelle Linee Guida sulla qualità dell'aria indoor (2009), l'OMS ha invitato a preferire un approccio progettuale che favorisca l'uso di modelli costruttivi idonei per garantire «edifici salubri» da realizzare con materiali «sani», intelligenti, a zero o basse emissioni¹. Oggi il tema dell'efficientamento energetico è prioritario sia per il raggiungimento degli obiettivi di Parigi e dell'Agenda 2030 dell'ONU (goals 7 e 13) sia per la crisi energetica che sta attraversando l'Europa (elevati costi e limitata disponibilità dei carburanti fossili, in particolare di gas metano). Questi interventi, sia nei nuovi edifici che in quelli esistenti, dovrebbero garantire/mantenere una buona qualità dell'aria indoor, così come indicato dalla direttiva UE 2018/844² e dalla Raccomandazione UE 2019/786³. Il radon è un importante agente fisico che insieme agli agenti chimici e microbiologici è responsabile di una cattiva qualità dell'aria negli ambienti di vita, quindi nell'effettuare interventi di efficientamento energetico, non devono essere trascurate le conseguenze sulle concentrazioni di radon indoor (e in generale sulla qualità dell'aria indoor), garantendo un adeguato ricambio di aria (naturale e/o forzato) e in casi specifici implementando sistemi di mitigazione *ad hoc* per la riduzione dei livelli di radon. Nella normativa nazionale, gli interventi per l'efficientamento energetico, così come è indicato nel testo esplicativo della nota all'art. 10 del D.Lgs. 101/2020 che richiama il D.P.R. del 6 giugno 2001, n. 380 e s.m.i, all' articolo 3 (L) lettera d), per loro definizione rientrano negli "interventi di ristrutturazione edilizia". L'importanza dei programmi sul risparmio energetico viene richiamata nell'Allegato III del D.Lgs 101/2020 al punto 15, come elementi da prendere in considerazione per il Piano nazionale d'azione per il radon concernente i rischi di lungo termine dovuti all'esposizione al radon di cui all'articolo 10.

Per comprendere e approfondire la problematica del radon indoor in relazione all'efficientamento energetico residenziale è stata effettuata una revisione bibliografica dedicata.

2. Relazione

2.1 Metodo

La revisione della letteratura è stata effettuata interrogando le banche dati: ArXiv; DOAJ; Jstor; Pub med e Science Direct, per gli anni 2011-2021. Sono state utilizzate le parole chiave: "energy efficiency", "indoor radon", "mitigation" utilizzando l'operatore booleano "and".

Esaminando il titolo sono stati selezionati 74 articoli; successivamente, dalla lettura dell'abstract sono stati scartati 18 studi perché ritenuti non pertinenti. I restanti 56 articoli sono stati suddivisi in 4 aree di ricerca: mappatura delle aree a rischio radon; misurazione e concentrazione del radon; relazione tra interventi di efficientamento energetico e concentrazione del radon indoor; mitigazione della concentrazione del radon indoor. Questo articolo si focalizzerà sulle ultime due aree di ricerca.

¹ WHO, 2009. *WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould.*

² DIRETTIVA (UE) 2018/844 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.

³ RACCOMANDAZIONE (UE) 2019/786 DELLA COMMISSIONE dell'8 maggio 2019 sulla ristrutturazione degli edifici.

La maggior parte degli studi è stata condotta in Europa, Russia e Canada, probabilmente dove la problematica del radon indoor è maggiormente sentita.

2.2 *Discussione/Risultati*

2.2.1 *Relazione tra interventi di efficientamento energetico e concentrazione del radon indoor*

Il risparmio energetico dei nuovi edifici è oramai un indirizzo prioritario nelle strategie di efficienza energetica in molti Paesi. Le caratteristiche degli edifici efficienti dal punto di vista energetico, come l'ermeticità, se associate a una ventilazione non adeguata possono compromettere la qualità dell'aria interna e, in particolare, aumentare la concentrazione degli inquinanti chimici e biologici e del radon.

L'analisi della letteratura scientifica ha mostrato una correlazione tra le nuove pratiche di costruzione e di ristrutturazione e i livelli di radioattività nelle abitazioni. Gli studi riportano che le concentrazioni medie più elevate di radon si registrano nei nuovi edifici ad alta efficienza energetica, se non associati ad un adeguato sistema di ventilazione meccanica, poiché una maggiore ermeticità comporta una minore permeabilità dell'edificio con conseguente accumulo di radon negli ambienti di vita. La ventilazione è una delle caratteristiche centrali sia per le case che rispondono ai requisiti di efficientamento energetico elevato, sia per una buona qualità dell'aria indoor, sia per limitare le concentrazioni interne di radon. I sistemi di ventilazione meccanica sono importanti anche per l'effetto che possono esercitare sulla differenza di pressione tra ambiente interno ed esterno, e quindi di conseguenza sulle potenziali concentrazioni di radon indoor.

Alcuni studi [2], [3], [4] e [5] hanno rilevato che gli edifici antecedenti agli anni '80 presentavano minori concentrazioni di radon indoor rispetto agli edifici costruiti dopo tale data, probabilmente poiché gli edifici più recenti, ad alta efficienza energetica (EEI: *Energy efficiency index*), seguono nuove normative in vigore. Numerosi studi condotti in Russia ([6], [7], [8], [9], [3]) hanno confrontato edifici ad alta efficienza energetica, costruiti secondo i nuovi codici edilizi, con edifici costruiti precedentemente (anni 1970-1980). I risultati hanno mostrato che le nuove tecnologie di costruzione possono influenzare le concentrazioni di radon nelle abitazioni, sia per l'uso di materiali da costruzione (calcestruzzo monolitico, lastre monolitiche), che possono contenere radionuclidi naturali (incluso il radon), sia per le tecniche moderne di sigillatura dell'involucro, che possono essere responsabili di un aumento delle concentrazioni indoor di radon. Inoltre, sottolineano la rilevanza della scelta dei materiali da costruzione, specialmente se derivano dal riciclo di materiali, poiché possono essere essi stessi fonti di contaminazione interna [10], [11].

Alcune ricerche hanno sottolineato anche che per prevenire l'incremento del radon negli edifici a basso consumo energetico è necessario porre attenzione alla tenuta d'aria dei pavimenti e alle fondazioni degli edifici. L'interazione tra ventilazione meccanica e sigillatura dell'edificio può comportare un incremento della differenza di pressione dell'aria fra l'interno e l'esterno degli edifici favorendo un aumento delle concentrazioni di radon indoor. La differenza di pressione dell'aria che si crea tra l'interno e l'esterno degli edifici è una delle cause principali dell'afflusso di radon negli ambienti indoor. Normalmente l'interno delle case ha una pressione inferiore rispetto all'esterno, ascrivibile a due fenomeni: l'effetto camino (legato alla differenza di temperatura tra esterno ed interno) e l'effetto vento (conseguenza della differenza di velocità dell'aria tra interno ed esterno). L'impiego di sistemi di ventilazione meccanica può agevolare la creazione di condizioni favorevoli a limitare la differenza di pressione tra esterno e interno così da impedire la risalita del radon.

Anche la presenza di fessurazioni nelle fondamenta può influenzare la concentrazione di radon [12]. È stato infatti dimostrato [13] che per un'ottimizzazione delle opere di sigillatura

si dovrebbero affiancare ulteriori misure, come il miglioramento delle coperture del terreno e della ventilazione, per la loro capacità di compensare possibili aumenti di radon indoor a seguito degli interventi di riqualificazione.

Uno studio [2] mette in relazione le caratteristiche petrografiche dei depositi delle regioni della Romania esaminate con i valori delle concentrazioni di radon nel suolo e nell'aria indoor, mostrando che il livello del radon indoor non è direttamente correlato alla variazione del radon presente nel suolo, in quanto non vi è stata una correlazione statisticamente significativa tra la concentrazione interna di radon e parametri come l'esalazione di radon dal pavimento, la concentrazione di radon nelle fessure, la concentrazione di radon nel suolo, l'indice di potenziale del suolo o di radon⁴. Inoltre, si è notato che le abitazioni ad alta efficienza energetica hanno una concentrazione media piuttosto alta di CO₂, che a sua volta è stata correlata positivamente con i livelli interni di radon, in quanto hanno un basso tasso di ricambio d'aria. La conclusione degli autori è quindi che le misure preventive per il radon dovrebbero essere applicate a tutti i nuovi edifici e che le misurazioni passive interne a lungo termine sono il metodo più affidabile per valutare il rischio radon per la salute umana.

In alcuni studi è stata riscontrata un'associazione tra efficientamento energetico, scarsa ventilazione e mortalità per cancro polmonare [14] mentre l'introduzione di sistemi di ventilazione meccanica e di recupero del calore limiterebbero l'aumento dei livelli di radon e quindi degli effetti sanitari correlati; ma questi sistemi sono complessi e costosi e difficili da applicare su larga scala. Milner *et al.* [15] hanno mostrato che l'eccesso di mortalità per cancro al polmone è stato riscontrato non solo negli edifici con livelli di radon al di sopra del livello d'azione britannico di 200 Bq m³ o anche del livello obiettivo di 100 Bq m³, ma anche nelle abitazioni esposte a livelli di radon ben al di sotto di quelli in cui la bonifica convenzionale è considerata economicamente efficace.

2.2.2 Mitigazione della concentrazione del radon indoor

Nella costruzione di nuovi edifici (prevenzione) e negli edifici esistenti (mitigazione o bonifica) è importante considerare la problematica del radon. Le principali strategie di prevenzione e mitigazione del radon si concentrano su: sigillatura delle vie di ingresso del radon; ventilazione naturale e forzata; inversione delle differenze di pressione interna e del terreno sottostante l'edificio, con l'impiego di tecniche di depressurizzazione del suolo e l'intercapedine di ventilazione [16], [17], [18].

Nella maggior parte dei casi, è necessaria una combinazione di strategie per ottenere la massima riduzione delle concentrazioni di radon [19].

Nelle nuove costruzioni l'installazione di una membrana passiva impermeabile al radon nel seminterrato risulta efficace se associata con misure di mitigazione attive (es. ventilatore a motore nel pozzetto); mentre negli edifici esistenti, una mitigazione efficace si ottiene combinando tecniche specifiche (es. la depressurizzazione del terreno, *SSDS*⁵) con la sigillatura di fessure e aperture nel seminterrato. Relativamente agli edifici di nuova costruzione, il rispetto dei limiti di riferimento è più semplice e richiede costi inferiori rispetto alle abitazioni esistenti.

⁴ L'indice di radon di un sito edilizio indica il livello di rischio di rilascio di radon dal sottosuolo.

⁵ *Sub Slab Depressurization (SSDS)* – Depressurizzazione del terreno: la depressurizzazione del suolo consiste in un sistema di aspirazione del radon presente nel terreno costituente il sottosuolo dell'edificio. Un impianto di questo tipo è costituito da un pozzo di estrazione (cavità nel terreno), collegato ad una tubazione di collettamento e scarico del gas nell'ambiente esterno. L'aria all'interno del pozzo viene continuamente aspirata per mezzo di un aspiratore elettromeccanico. Il pozzo radon rappresenta il sistema più comune e efficace per ridurre la concentrazione di radon negli edifici che non hanno il vespaio, ma fondazioni a platea o a cordoli. (<https://www.radon.it/it/depressurizzazione-del-suolo-mediante-pozzo-radon/>).

ti. Le concentrazioni di radon nei nuovi edifici dovrebbero essere, pertanto, inferiori al livello nazionale di riferimento.

Si è visto anche che l'introduzione di norme *ad hoc* per la mitigazione del radon nel regolamento edilizio, come in Irlanda nel 1998, ha portato a una riduzione del livello medio di radon indoor [20] e le linee guida pratiche associate (2003-2004) hanno portato a misure preventive più efficaci che hanno comportato una riduzione delle concentrazioni di radon indoor.

Lo studio di Burghlea *et al.* [21] ha confermato che la migliore tecnica nella riduzione del radon è la depressurizzazione sub-slab (SSDS) (61% - 95% di riduzione), mentre la ventilazione meccanica centralizzata e decentralizzata con recupero di calore mostra una buona efficienza nel miglioramento complessivo della qualità dell'aria interna (CO₂, VOC, RH, temperatura). I risultati della ricerca, inoltre, auspicano l'armonizzazione tra i programmi di efficienza energetica e quelli di salute pubblica, grazie all'applicazione delle migliori tecnologie nel rispetto del risparmio energetico e della qualità ambientale interna.

Anche la revisione di Khan *et al.* [22] relativa a studi pubblicati in Nord America e in Europa tra il 1990 e il 2018, sulla migliore strategia di riduzione del radon negli edifici residenziali, ha evidenziato che SSDS è il miglior sistema di mitigazione, pure se, in alcuni casi, deve essere combinato con un altro sistema di mitigazione attivo per garantire che le concentrazioni di radon rimangano nei limiti.

Brossard *et al.* [18] hanno confrontato le prestazioni dei sistemi di depressurizzazione attiva del suolo di differenti scenari di scarico (ARL e AGL⁶) in termini di riduzione del radon e di congelamento dello scarico a temperature molto basse (temperature medie tra -24 °C e -28 °C). I profili di riduzione del radon sono simili per entrambi gli scenari, ma i sistemi di scarico ARL sono più soggetti a ostruzione da congelamento rispetto ai sistemi AGL; nonostante ciò, le pressioni di aspirazione del radon non sono state compromesse così come le riduzioni di radon.

Uno studio cinese [23] ha analizzato l'efficacia di due modalità di ventilazione sui principali inquinanti indoor (bioeffluenti, particelle, VOC, SVOC, muffa/umidità e radon) negli edifici residenziali: 1) ventilazione naturale con un purificatore d'aria e 2) ventilazione meccanica con un'unità di filtraggio dell'aria. Queste due modalità sono state esaminate e confrontate sia per la loro applicabilità, sia per individuare i vantaggi e gli svantaggi allo scopo di ridurre l'esposizione agli inquinanti indoor. In generale, la modalità 2) può garantire in modo più affidabile una buona IAQ per gli occupanti; mentre la modalità 1) è più facilmente applicabile grazie al suo basso costo e al basso consumo energetico. La possibile efficacia dell'utilizzo del purificatore d'aria come utile supplemento ai metodi esistenti di mitigazione del radon è stata confermata anche dal recente studio di Yanchao *et al.* [24].

3. Conclusioni

Le concentrazioni di radon indoor dipendono da molteplici fattori come il tipo di edificio, la progettazione e i materiali da costruzione, la geologia locale, la permeabilità del suolo, le condizioni meteo-climatiche, le abitudini degli occupanti, tutti fattori che possono variare notevolmente anche tra case limitrofe, ma addirittura all'interno di uno stesso edificio a seconda della vicinanza al suolo.

Dall'analisi della letteratura si è rilevato che le concentrazioni più elevate di radon indoor si sono registrate nei nuovi edifici ad alta efficienza energetica, quando non associati ad un adeguato sistema di ventilazione meccanica. Per quanto concerne i principali sistemi di mitigazione del radon adottati, essi sono: la sigillatura di superfici che separano lo spazio indoor

⁶ Scarico sopra il livello del suolo con il ventilatore situato nel seminterrato (AGL) o scarico sopra la linea del tetto con il ventilatore posizionato nel sottotetto (ARL).

dal suolo, la depressurizzazione del sottosuolo, la presenza di un'intercapedine di ventilazione e la ventilazione naturale e forzata.

Le concentrazioni di radon in una singola abitazione possono essere determinate solo attraverso la misurazione. Per identificare gli edifici con livelli elevati di radon possono essere effettuate campagne di misura locali, regionali o nazionali per aree a rischio radon; utili sono anche i programmi di informazione pubblica (*Citizen science*) allo scopo di sensibilizzare i proprietari nell'effettuare misurazioni *ad hoc* nelle proprie abitazioni. Una politica nazionale sul radon, oltre a concentrarsi sull'identificazione delle aree geografiche ove è maggiore il rischio di esposizione, dovrebbe essere attenta alla sensibilizzazione del pubblico sul rischio sanitario associato. Il MiTE, consapevole della rilevanza del coinvolgimento della popolazione ha sottoscritto con ISPRA un accordo *ad hoc* per sviluppare un progetto nazionale di *Citizen science*, per accrescere la conoscenza e la consapevolezza dei cittadini su tale tematica.

La normativa italiana (D. Lgs. n.101 del 31 luglio 2020) identifica i livelli massimi di riferimento di concentrazione media annua di attività di radon in aria per le abitazioni e i luoghi di lavoro (300 Bqm³ per le abitazioni esistenti e i luoghi di lavoro; 200 Bqm³ per abitazioni costruite dopo il 31 dicembre 2024), seguendo quanto raccomandato dalla WHO [25] per minimizzare i rischi per la salute. L'Italia sta inoltre finalizzando la redazione del Piano Nazionale Radon come sollecitato dalla WHO stessa, al fine di ridurre l'esposizione della popolazione e il rischio associato.

Nel Piano saranno considerate sia la prevenzione del radon, per i nuovi edifici, che la mitigazione, per gli edifici esistenti, e le altre indicazioni suggerite dalla WHO: stabilire livelli di riferimento nazionali per la concentrazione di radon negli edifici ad alta frequentazione di pubblico e nei luoghi di lavoro; testare e monitorare i livelli di radon soprattutto nel contesto dei programmi di efficienza energetica; incorporare il radon come fattore di rischio nelle strategie nazionali di controllo del cancro, della conservazione dell'energia, della qualità dell'aria indoor e nei programmi di promozione della salute.

Bibliografia

- [1] WHO, 2009. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. A cura di: Hajo Zeeb, and Ferid Shannoun.
- [2] Florică Ș, *et al.*, 2020. The path from geology to indoor radon. Environ Geochem Health. 42(9):2655-2665.
- [3] Yarmoshenko IV *et al.*, 2020. Radon interventions around the globe: Radon concentration in conventional and new energy efficient multistorey apartment houses: results of survey in four Russian cities. Int J Environ Res Public Health. 10;17(11):41-49.
- [4] Baeza A. *et al.*, 2018. Influence of architectural style on indoor radon concentration in a radon prone area: A case study. Sci Total Environ. 1;610-611:258-266.
- [5] Ringer W., 2014. Monitoring trends in civil engineering and their effect on indoor radon. Radiat Prot Dosimetry. 160(1-3): 38-42.
- [6] Yarmoshenko I.V. *et al.*, 2014. Indoor radon problem in energy efficient multi-storey buildings. Radiat Prot Dosimetry. 160(1-3): 53-6.
- [7] Zhukovsky M.V. & Vasilyev A.V., 2014. Mechanisms and sources of radon entry in buildings constructed with modern technologies. Radiat Prot Dosimetry. 160(1-3): 48-52.
- [8] Vasilyev *et al.*, 2015. Low air exchange rate causes high indoor radon concentration in energy-efficient buildings. Radiat Prot Dosimetry 164(4):601-5.
- [9] Vasilyev A. & Yarmoshenko I., 2017. Effect of energy-efficient measures in building construction on indoor radon in Russia. Radiat Prot Dosimetry 174(3):419-422.
- [10] Fucic A., *et al.*, 2011. Radiochemical indoor environment and possible health risks in current building technology. Building and Environment, 180.

- [11] Derbez M. *et al.*, 2018. Indoor air quality in energy-efficient dwellings: Levels and sources of pollutants. *Indoor Air.*, **28**(2):318-338.
- [12] Arvela H. *et al.*, 2014. Review of low-energy construction, air tightness, ventilation strategies and indoor radon: results from Finnish houses and apartments. *Radiat Prot Dosimetry.* **162**(3): 351-63.
- [13] Pigg S *et al.*, 2018. Impacts of weatherization on indoor air quality: A field study of 514 homes. *Indoor Air.* **28**(2):307-317.
- [14] Jiránek M. & Kačmaříková V., 2014. Dealing with the increased radon concentration in thermally retrofitted buildings. *Radiat Prot Dosimetry.* **160**(1-3): 43-7.
- [15] Milner J. *et al.* 2014. Home energy efficiency and radon related risk of lung cancer: modelling study. *BMJ: British Medical Journal* **348**.
- [16] Tunno T. *et al.*, 2017. Critical aspects of radon remediation in karst limestone areas: some experiences in schools of South Italy. *J Radiol Prot.* **20**;37(1):160-175.
- [17] Cosma C *et al.*. 2015. Testing radon mitigation techniques in a pilot house from Băița-Ștei radon prone area. *J Environ Radioact.* **140**:141-7.
- [18] Brossard M. *et al.*, 2015. Radon mitigation in cold climates at Kitigan Zibi Anishinabeg. *Health Phys.* **108**(1 Suppl 1): S13-8.
- [19] Gaskin J., *et al.* 2019. A cost effectiveness analysis of interventions to reduce residential radon exposure in Canada. *Journal of Environmental Management* **247**: 449-461.
- [20] Dowdall A. *et al.*, 2017. Update of Ireland's national average indoor radon concentration - Application of a new survey protocol. *J Environ Radioact.* **169-170**:1-8.
- [21] Burghilea B.D. *et al.*, 2021. Comprehensive survey on radon mitigation and indoor air quality in energy efficient buildings from Romania. *Science of The Total Environment*
- [22] Khan S. M., *et al.*, 2019. Radon interventions around the globe: A systematic review. *Heliyon* **5**(5).
- [23] Ye W *et al.*, 2017 Indoor air pollutants, ventilation rate determinants and potential control strategies in Chinese dwellings: A literature review. *Sci Total Environ.* **586**: 696-729.
- [24] Yanchao S. *et al.*, 2021. Study on the effect of air purifier for reducing indoor radon exposure *Applied Radiation and Isotopes* **173**:109706.
- [25] WHO, 2021. Radiation. In *Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment.* WHO.

I controlli di ARPA Lombardia sulle spedizioni transfrontaliere di rifiuti inerti provenienti dal Canton Ticino (Svizzera - CH)

Roberta Meroni r.meroni@arpalombardia.it,

Lorena Cozzi l.cozzi@arpalombardia.it - ARPA Lombardia dipartimento Como-Varese

Marco Ciccarelli - m.ciccarelli@arpacampania.it ARPA Campania

Riassunto

L'obiettivo del lavoro è presentare l'attività di controllo da parte di ARPA Lombardia sui rifiuti transfrontalieri inerti provenienti dal Canton Ticino (CH) e destinati ad alcuni impianti di recupero della Lombardia.

La finalità dei controlli è quella di verificare la conformità del conferimento di tali rifiuti alla normativa italiana di settore ed al Regolamento CE 1013/2006, nonché di facilitare, disciplinando, il traffico transfrontaliero di materiali inerti per l'edilizia, ovvero sabbia e ghiaia dalla Lombardia verso il Canton Ticino, e terra e rocce, diverse da quelle di cui alla voce 170503 (EER 17 05 04) e di rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione, diversi da ... (EER 17 09 04) dal Canton Ticino verso la Lombardia.

Summary

The aim of the work is to present the control activity by ARPA Lombardia on transboundary movements of inert waste coming from the Canton Ticino (CH) and destined for some recovery plants in Lombardy.

The purpose is to verify the compliance of the inert waste delivery with Italian legislation and with the EC Regulation 1013/2006 and to facilitate, by regulating, the traffic of inert building materials i.e. sand and gravel from Lombardy to Canton Ticino and of soil and stones other than those mentioned in 17 05 03 (EER 17 05 04) and of mixed construction and demolition wastes other than those mentioned in... (EER 17 09 04) from the Canton Ticino to Lombardy.

1. Introduzione

Il controllo effettuato da ARPA Lombardia 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, nasce nel 2016 come Progetto CO.M.E.T.A. (COntrollo Materiali Esteri Transfrontalieri Autorizzati) e prosegue, ad oggi, come attività istituzionale dell'Agenzia.

Il Progetto è 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.

I rifiuti inerti vengono sottoposti negli impianti autorizzati alle operazioni di recupero R10

(Trattamento in ambiente terrestre a beneficio dell'agricoltura o dell'ecologia) e/o R5 (Riciclaggio/recupero di altre sostanze inorganiche), come definiti nel Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n.152 e s.m.i..[1]

Le attività svolte da ARPA Lombardia presso gli impianti si articolano in diverse fasi, di seguito riassunte:

- fase propedeutica al sopralluogo
- fase di verifica in campo che può prevedere due tipologie di controllo (sopralluogo e campionamento – sopralluogo e controllo visivo)
- fase di controllo documentale post-sopralluogo
- attività analitica in laboratorio
- redazione delle relazioni a seguito del controllo.

2. Relazione

L'attività di controllo sui rifiuti transfrontalieri coinvolge diversi soggetti (Fig. 1), in particolare sono coinvolti:

- Autorità Competente di spedizione:

autorità competente per la zona dalla quale si prevede che la spedizione avrà inizio o nella quale essa ha inizio (Autorità Cantonale del Ticino)

- Autorità Competente di destinazione:

autorità competente per la zona verso la quale è prevista o ha luogo la spedizione (Regione Lombardia)

- notificatore:

persona fisica o giuridica, soggetta alla giurisdizione del Paese, che intende effettuare o far effettuare una spedizione di rifiuti e a cui spetta l'obbligo della notifica (documento destinato a fornire alle autorità competenti le informazioni di cui esse hanno bisogno per verificare l'ammissibilità delle spedizioni di rifiuti proposte)

- insediamenti produttivi:

impianti destinati al recupero/ripristino ambientale del rifiuto.

L'attività di ARPA Lombardia si attua mediante controlli direttamente sugli impianti destinatari dei rifiuti, che vengono trasportati e gestiti ai sensi del Regolamento Europeo 1013/2006 [2].

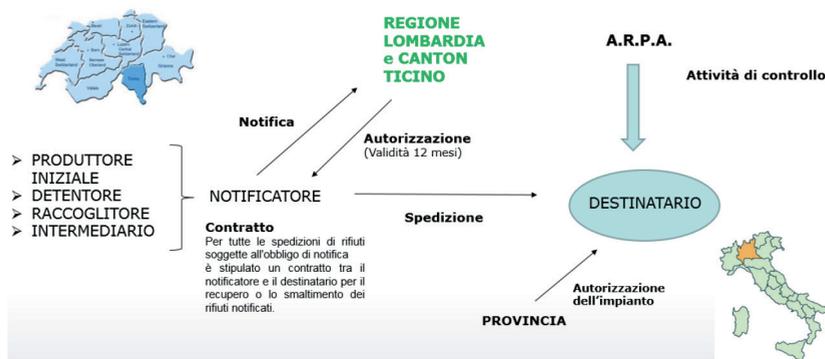


Fig. 1 – Soggetti coinvolti nel controllo sui rifiuti transfrontalieri provenienti dal Canton Ticino

2.1 Attività di controllo

Il controllo da parte di ARPA Lombardia si articola in diverse fasi di seguito dettagliate.

2.1.1 *Attività propedeutica al sopralluogo*

I tecnici ARPA preposti al controllo esaminano preliminarmente gli atti autorizzativi degli impianti di destinazione al fine di verificare l'autorizzazione a ricevere i codici EER conferiti (17 05 04 e 17 09 04) e le relative operazioni su di essi autorizzate.

La pianificazione dei sopralluoghi presso gli impianti viene effettuata verificando i conferimenti previsti ad un indirizzo e-mail dedicato, al quale i notificatori trasmettono i conferimenti in programma. Infatti, come previsto dall'art.16 del Reg. CE 1013/2006, il notificatore ha l'obbligo di comunicare all'Autorità Competente di destinazione, al destinatario e all'Autorità Competente di spedizione, la data effettiva di inizio delle spedizioni almeno tre giorni lavorativi prima che le spedizioni abbiano inizio. Tale tempistica è da rispettare anche in casi di ripianificazione della spedizione, fatte salvi i casi dovuti a cause di forza maggiore documentabili dal notificatore.

2.1.2 *Attività in campo*

L'attività di ARPA presso l'impianto può essere delle seguenti tipologie:

1. sopralluogo ispettivo per campionamento del rifiuto;
2. sopralluogo ispettivo per controllo tecnico - documentale (controllo visivo del rifiuto).

2.1.2.1 *Sopralluogo ispettivo in impianto per campionamento del rifiuto*

I funzionari ARPA si recano senza preavviso presso l'impianto prescelto e assistono allo scarico del rifiuto del carico o dei carichi presso una zona dedicata chiamata "area quarantena" (Fig.2).

La predisposizione di tale area si è resa necessaria ad inizio progetto per il collocamento dei rifiuti sottoposti a controllo, fino al completamento delle attività analitiche. Ai gestori degli impianti è stato richiesto di predisporla in una zona pianeggiante dell'impianto, se possibile all'interno di un'area già autorizzata allo stoccaggio di tale tipologia di rifiuti, preferibilmente su pavimentazione impermeabilizzata in cls, distinta e separata, perlomeno mediante segnaletica orizzontale, rispetto alle altre aree operative.

Il campionamento effettuato dai funzionari ARPA è eseguito ai sensi della norma UNI 10802/2013 [3] (Fig.3) e, a fine campionamento, i cumuli campionati vengono coperti da teli impermeabili ancorati, atti a prevenire possibili azioni di dilavamento e/o di dispersione eolica a seguito di eventi meteorici.

I campioni ottenuti vengono conservati in barattoli in vetro e posti in buste antieffrazione, aventi codice numerico univoco e consegnati per gli accertamenti analitici ai laboratori ARPA di Milano che comunicherà al gestore dell'impianto le date di apertura dei campioni e contestuale inizio analisi,

per assicurare il diritto alla difesa ai sensi dell'art. 223 del c.p.p..

Vengono predisposti un verbale delle operazioni di campionamento e uno di sopralluogo e vengono acquisiti i documenti di movimento dei rifiuti campionati.

2.1.2.2 *Sopralluogo ispettivo in impianto per controllo tecnico - documentale (controllo visivo del rifiuto)*

Al fine di aumentare il numero di carichi sottoposti a controllo e al fine di sensibilizzare i gestori degli impianti ad adottare procedure più rigorose per il controllo dei carichi in ingresso, sono previsti controlli "non analitici". Tali accertamenti prevedono un controllo visivo dei carichi per verificare la corrispondenza tra il codice EER scaricato, con quello dichiarato nel documento di movimento. Anche in questo caso vengono elaborati, oltre che i verbali di sopralluogo, anche report fotografici delle attività svolte.

In caso di corrispondenza, il rifiuto viene subito sottoposto all'operazione di recupero previ-

sta presso l'impianto mentre in caso di difformità il rifiuto viene stoccato presso l'area di quarantena e si procede con ulteriori valutazioni a seconda dell'accettazione o meno del carico da parte del gestore dell'impianto.



Fig. 2 – Rifiuto costituito da terre e rocce scaricato presso l'area di quarantena



Fig. 3 – Attività di campionamento

2.2 Controllo documentale post- sopralluogo

In seguito al sopralluogo vengono acquisiti i documenti di movimento dei rifiuti campionati, al fine di verificare che i numeri seriali delle spedizioni, il numero della notifica e il codice EER del rifiuto trasportato siano quelli effettivamente preannunciati.

In caso di campionamento viene anche verificata la gestione documentale dei rifiuti campionati, ovvero la corretta compilazione del registro di carico scarico (di cui all'art. 190 del D.lgs. 152/06 e s.m.i.). Viene infatti dapprima controllato che nel corrispondente campo del registro riservato alle "Annotazioni" l'operatore indichi che il carico dei rifiuti è stoccato presso l'apposita area di quarantena ed in un secondo momento, in seguito alla conformità del rifiuto da parte del laboratorio ARPA, che ne venga registrato lo scarico.

2.3 Attività analitica in laboratorio

Gli accertamenti analitici sui rifiuti campionati vengono eseguiti dai laboratori ARPA di Milano e sono volti a determinare:

- le caratteristiche di pericolosità/non pericolosità dei rifiuti ai sensi del Reg. U.E. 1357/2014 [4];
- la conformità alle norme sulle operazioni di recupero ai sensi del D.M. 5 febbraio 1998 e s.m.i. (test di cessione) [5];
- l'eventuale compatibilità ambientale (rispetto alla destinazione d'uso verde pubblico/residenziale) confrontando i valori riscontrati con le concentrazioni soglia contaminazione (CSC) riportate in Tab.1, colonna A, allegato 5, Titolo V, parte IV del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.;
- l'eventuale presenza di amianto. La sua determinazione, effettuata presso il laboratorio di microscopia elettronica ARPA di Milano, centro d'eccellenza e di riferimento per la Lombar-

dia, è fondamentale nelle matrici derivanti da attività di demolizione (EER 17 09 04). Infatti, tale materiale è stato utilizzato nel tempo in modo massiccio nell'edilizia e nell'industria come isolante termico. A causa della sua caratteristica fibrosa, la lavorazione e il riutilizzo di materiali contenenti amianto negli impianti di trattamento può dare luogo ad una importante dispersione di fibre di amianto nell'ambiente. Infatti, anche la semplice movimentazione di rifiuto in matrice sciolta contenente amianto può rilasciare fibre nell'ambiente.

2.4 Redazione delle relazioni a seguito del controllo

Al termine di ogni analisi gli esiti dei controlli, accompagnati da nota tecnica, vengono trasmessi alle Autorità Competenti per i seguiti di competenza.

2.5 Gestione non conformità

I superamenti analitici dei limiti previsti per legge, storicamente hanno riguardato prevalentemente le CSC (Concentrazione Soglia Contaminazione), in particolar modo il parametro Arsenico, metallo presente naturalmente in alcune aree oggetto di escavazione.

Qualora le valutazioni di ARPA Lombardia dimostrino la non idoneità dei rifiuti analizzati in raffronto ai limiti di riferimento, è onere del gestore dell'impianto di riceverne il corretto recupero o smaltimento.

Per i carichi non conformi si contesta la violazione dell'art. 216 del D.lgs. 152/06 e s.m.i., sanzionata penalmente dall'art.256 comma 1 lettera a) del D.lgs. 152/06.

Essendo stata ARPA Lombardia investita della nomina di Polizia Giudiziaria a partire da settembre 2017, è in capo al personale del Dipartimento seguire la corretta procedura e redigere gli atti conseguenti. La documentazione relativa agli illeciti commessi viene trasmessa alla Procura della Repubblica competente.

3. Conclusioni

Il controllo eseguito sui rifiuti transfrontalieri inerti da inizio progetto ad oggi ha portato ottimi risultati.

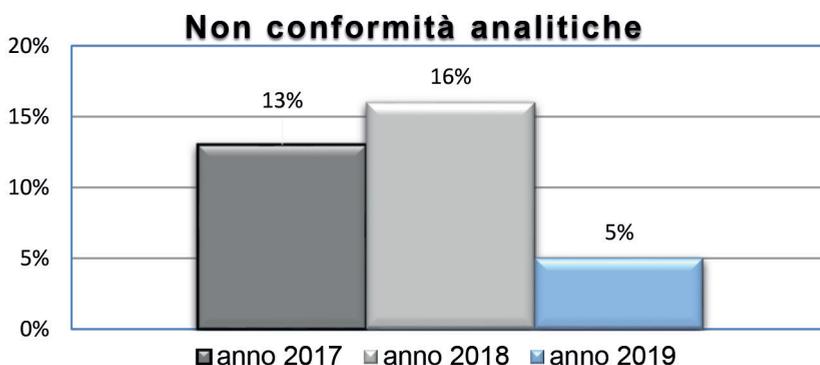


Grafico n. 1 – Non conformità analitiche rilevate da inizio attività

Come si evince dal grafico, a partire da inizio campionamenti nell'anno 2017, negli anni si sono ridotte considerevolmente le non conformità analitiche, che sono state rilevate principalmente sui rifiuti aventi codice EER 17 05 04 (terre e rocce), in quanto codice prevalentemente conferito negli impianti.

Il 2019 ha visto la conclusione del progetto CO.M.E.T.A., ma il controllo da parte di ARPA

Lombardia è proseguito anche se nel corso del 2020 si è verificato un inevitabile rallentamento dei controlli in impianto, causati dalla pandemia per il virus SARS Covid -19.

Dai controlli di natura visiva, documentale ed analitica, effettuati nel 2021 invece non sono emerse difformità legate alla gestione dei rifiuti, mentre in alcuni casi sono state ravvisate solo alcune criticità relativamente alla gestione delle aree di quarantena.

Si evidenzia che il 100% dei rifiuti campionati negli anni è risultato essere non pericoloso e non contenente amianto (valore riscontrato al di sotto dei limiti normativi).

Si è rilevata anche una migliore gestione della documentazione relativa ai rifiuti conferiti da parte del gestore ed un maggiore riscontro in caso di criticità da parte dei notificatori.

Attualmente l'attività di controllo sui rifiuti transfrontalieri da parte del personale del Dipartimento di Como-Varese continua, a seguito di accordi con Regione Lombardia.

Bibliografia

[1] Decreto legislativo 3 aprile 2006, n.152 e s.m.i.

[2] 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).

[3] Norma UNI 10802/2013

[4] Regolamento (UE) n. 1357/2014

[5] Decreto Ministero Ambiente 5 febbraio 1998 e s.m.i.

Il progetto S.AVA.GE.R. - Sorveglianza Avanzata Gestione Rifiuti

Nadia Fibbiani - n.fibbiani@arpalombardia.it U.O. A.P.C. - Dipartimento Como Varese
Dario Bellingeri - U.O. Centro Regionale Earth Observation - Direzione Tecnica d.bellingeri@arpalombardia.it
Alessandro Loda - Responsabile U.O. Centro Regionale Earth Observation - Direzione Tecnica a.loda@arpalombardia.it

Riassunto

Progetto approvato e finanziato dalla Direzione Generale Ambiente e Clima di Regione Lombardia, volto all'implementazione di nuove metodologie di controllo del territorio che si stanno sviluppando all'interno di ARPA Lombardia, con la collaborazione di altri Enti e con il coinvolgimento delle Forze dell'ordine. Sostanzialmente queste metodologie sono basate sull'ausilio di tecnologie innovative quali Geospatial Intelligence e droni, per identificare preliminarmente casi di potenziale non conformità alle normative ambientali in materia di gestione dei rifiuti. Una volta individuate le aree potenzialmente critiche, effettuati i necessari approfondimenti, con l'ausilio delle Forze dell'ordine, si organizzano interventi mirati.

Summary

Project approved and financed by the General Directorate for Environment and Climate of the Lombardy Region, aimed at the implementation of new territorial control methodologies that are being developed within ARPA Lombardia, with the collaboration of other public authorities and with the involvement of the Police. Basically, these methodologies are based on the aid of innovative technologies such as Geospatial Intelligence and drones, to preliminarily identify cases of potential non-compliance with environmental regulations on waste management. Once the potentially critical areas have been identified, the necessary investigations have been carried out, with the help of the Police, targeted interventions are organized.

1. Introduzione

Il progetto SAVAGER è stato approvato e finanziato dalla Direzione Generale Ambiente e Clima di Regione Lombardia con Decreto n. 4129 del 27/03/2019: "Approvazione e sottoscrizione del progetto attuativo presentato da ARPA Lombardia "SAVAGER" [1].

Nato come progetto sperimentale nel periodo 2019-2021, SAVAGER è di fatto diventato rapidamente operativo, anche attraverso la messa a punto di un modello di collaborazione virtuoso con le Forze dell'Ordine, le Procure e le Prefetture. Nel 2022 le attività sono diventate progressivamente più operative ed estese sul territorio, con il graduale coinvolgimento dei diversi Dipartimenti dell'Agenzia e di Enti esterni. Ad oggi SAVAGER ha consentito la individuazione di 57 siti sospetti di cui 49 risultati effettivamente non conformi, con 24 siti sequestrati.

1.1 Obiettivo

La “geospatial intelligence” è il processo d’acquisizione di conoscenza delle attività umane prodotta dall’analisi delle informazioni georeferenziate. In questo caso, dall’analisi d’immagini nello spettro del visibile prodotte dall’osservazione della terra dal cielo per mezzo di satelliti, aereo e droni.

Il progetto SAVAGER intende approfondire l’uso delle tecnologie della geospatial intelligence nel contrasto alla gestione illegale dei rifiuti nonché di altri illeciti ambientali, attraverso l’identificazione precoce delle situazioni di potenziale non conformità alle normative [2] [4] [5].

L’obiettivo iniziale del progetto consiste quindi nello sviluppare e verificare una strategia di controllo delle non conformità ambientali, basata sulla geospatial intelligence, in particolare della gestione illegale di rifiuti, che superasse la logica tradizionale dell’intervento solo nei siti degli operatori economici impegnati nella raccolta e trattamento, estendendo il controllo a tutto il territorio.

2. Il progetto

Al fine di raggiungere l’obiettivo sopra descritto, la prima fase prevede l’uso della fotointerpretazione di immagini dal cielo ad alta o altissima risoluzione sia liberamente disponibili (Ortofoto AGEA, GoogleEarth...), sia appositamente acquistate. L’analisi di queste immagini, da parte di osservatori addestrati in forza ad ARPA, permette di localizzare aree o insediamenti circoscritti la cui rappresentazione fotografica sembra evidenziare gestioni illecite o trascurate di rifiuti (siti critici). Per ridurre i margini di fraintendimento della fotointerpretazione l’elenco dei siti critici è ordinato sulla base del livello di evidenza (priorità). La seconda fase prevede la verifica dell’elenco da parte dai colleghi dei Dipartimenti impegnati nei controlli, anche con il contributo informativo delle Forze dell’Ordine locali. L’elenco verificato e ordinato è utilizzato per la pianificazione delle ispezioni.

2.1 Step operativi

Per quanto riguarda l’attuazione del progetto SAVAGER prevede due livelli di coinvolgimento del personale ARPA:

- 1° Livello – Sorveglianza (svolta presso la sede centrale di ARPA)

L’attività di fotointerpretazione è il cuore del 1° livello di sorveglianza. La fotointerpretazione ha come obiettivo la ricerca, attraverso l’analisi di immagini satellitari od aeree ad alta risoluzione, di siti potenzialmente critici da un punto di vista della gestione dei rifiuti. Cioè siti che contengono oggetti, pattern e ricorrenze tali da rendere probabile, sulla base del parere di un osservatore esperto, la presenza al loro interno di quantità rilevanti di rifiuti abbandonati o di rifiuti gestiti in modo scorretto.

I siti vengono suddivisi dagli osservatori in classi di priorità sulla base del livello di confidenza del fatto che si tratti di siti di gestione illegale di rifiuti, della gravità del possibile illecito e del livello di rischio del possibile danno ambientale. Ove possibile i risultati della fotointerpretazione sono incrociati con i catasti e i database di ARPA in modo migliorarne la caratterizzazione.

Per questa attività è stato costituito un Team Osservazionale opportunamente addestrato, responsabile della fotointerpretazione e della produzione dell’elenco dei siti critici censiti in una determinata area.

L’ambiente di fotointerpretazione si basa sulla versione 3.16 del software “Quantum GIS” (QGIS), un software GIS (Geographic Information System) Open Source, che supporta sia i dati vettoriali che raster dei principali formati cartografici oltre che database spaziali come

PostgreSQL/PostGIS o Spatialite. L'ambiente di fotointerpretazione, sebbene basato su una versione standalone di QGIS installata sul PC di ogni operatore, consente comunque la condivisione dei risultati in tempo reale tra gli utenti in quanto il geodatabase su cui sono memorizzati i risultati della fotointerpretazione è unico e condiviso nella rete interna dell'Agenzia. Qualora l'osservatore classifichi un sito come critico, questo è georeferenziato e salvato nel geodatabase in formato puntuale. Oltre alla localizzazione l'osservatore inserisce e salva le informazioni di contesto relative ai campi attributo codificati nel corso del progetto SAVAGER. I dati memorizzati sono esportabili in diversi formati a seconda delle necessità (formato tabellare (.xls) con associata la localizzazione del sito in formato puntuale .kml e formato shapefile (.shp)).

I siti critici individuati sono infine sottoposti a “revisione incrociata”: ogni sito individuato viene refertato anche da un altro analista del Team Osservazionale. Le conclusioni discordanti sono discusse e composte assieme, in modo da giungere ad un risultato condiviso.

Tutta la procedura di lavoro è stata formalizzata nel “**Manuale di Fotointerpretazione**”. Avendo come riferimento un dettagliato testo scritto l'attività di fotointerpretazione risulta standardizzata e quindi più oggettiva e ripetibile anche da soggetti diversi. La messa a punto definitiva di un ambiente unitario e standard ha permesso di aumentare la fluidità della metodologia di fotointerpretazione e di confronto dei risultati, riducendone significativamente i tempi e gli errori.

La gestione illegale dei rifiuti ha dinamiche spesso molto rapide, per riuscire a intercettarla tempestivamente è necessario rendere più efficiente il processo di Geospatial Intelligence. Allo stato attuale il principale fattore limitante della metodologia SAVAGER sono i lunghi tempi necessari agli osservatori umani. Per cercare di superare questa limitazione, si è deciso di sperimentare la potenzialità dell'intelligenza artificiale applicata all'individuazione automatica nelle immagini da fotointerpretare di pattern caratteristici dell'abbandono e stoccaggio disordinato di rifiuti. In particolare, ARPA Lombardia ha stipulato un accordo di collaborazione con il Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria (DEIB) del Politecnico di Milano.

È stato utilizzato il modello di classificazione ResNet-50 (ResNet: Residual Neural Network), uno dei più consolidati algoritmi di Deep Learning nel campo dell'interpretazione delle immagini. L'approccio sviluppato dal DEIB nell'addestramento di ResNet-50 è stato di tipo olistico, cioè il modello di classificazione è stato addestrato a non focalizzarsi solamente sui singoli dettagli di interesse presenti in un'immagine ma ad analizzarla nella sua interezza, comportandosi quindi in maniera molto simile ad un fotointerprete umano [3].

Il modello ResNet-50 è stato sottoposto dal DEIB ad un processo di apprendimento basato su circa 3000 immagini di esempio del territorio regionale contenenti centinaia di siti critici classificati da fotointerpretazione umana. Al fine della calibrazione del modello, dopo l'addestramento, sono state effettuate specifiche sessioni di fotointerpretazione in parallelo, in cui gli operatori di ARPA hanno analizzato le stesse porzioni di territorio sottoposto alla ricerca dell'intelligenza artificiale, confrontando i risultati. La sperimentazione delle tecnologie di Intelligenza Artificiale ha fornito risultati molto incoraggianti. Il modello predisposto dai ricercatori del DEIB è stato in grado di rilevare nel dataset di immagini telerilevate siti potenzialmente critici con una precisione che si avvicina al 90%. La sperimentazione è solo all'inizio, diversi sono i possibili sviluppi di questa tecnologia che potrebbero migliorare l'efficienza del processo o la sua versatilità.

Riguardo ai dati di input utilizzabili, oltre alle ortofoto regionali e ai dati ad altissima risoluzione visualizzabili in ambienti come GoogleEarth, sono state appositamente acquisite ed utilizzate immagini satellitari WorldView-3 (WV-3) ad alta risoluzione (30 cm); l'acquisizione di

immagini satellitari recenti, oltre che un input diretto alla fotointerpretazione, può fornire la conoscenza aggiornata dello stato dei luoghi in siti critici già individuati sulla base di altre basi informative più datate; questo aspetto è in molti casi essenziale per confermare la necessità di procedere ad un eventuale controllo diretto in campo. I dati satellitari sono stati acquisiti su specifiche aree di test anche in modalità stereoscopica; tale modalità d'acquisizione consente la ricostruzione del modello altimetrico del terreno (DSM); lo scopo generale di queste acquisizioni è quello di valutare l'utilizzabilità di questo tipo di dato anche nell'ambito di controlli preliminari estensivi delle volumetrie di grossi cumuli. Per valutare l'accuratezza del metodo e quindi gli errori nei DSM ricostruiti tramite stereorestituzione da satellite, sono stati effettuati alcuni confronti con modelli DSM ricostruiti tramite rilievi da drone. Pur con le inevitabili differenze, e considerando il diverso ordine di grandezza in termini di risoluzione dei dati di input, il confronto fra le volumetrie stimate dei cumuli è risultato soddisfacente, in particolar modo in caso di cumuli particolarmente estesi e per valutazioni su aree vaste.

- 2° Livello – Controllo (svolto a livello territoriale).

I risultati della sorveglianza sono condivisi in prima battuta con gli operatori dei Dipartimenti provinciali di ARPA. La proposta di elenco dei siti critici e il loro livello di priorità sono verificati sulla base della conoscenza e dell'esperienza degli operatori. Il prodotto di questa attività di verifica è l'eliminazione dei siti interpretati erroneamente dagli osservatori e la possibile ridefinizione dei livelli di priorità. L'elenco dei siti critici prioritari risultante rappresenta l'insieme base per la programmazione dei controlli ispettivi.

I criteri utilizzati dai Dipartimenti nella fase di selezione/conferma progressiva dei siti critici e tra questi dei siti prioritari possono essere diversi. In generale, il parametro di sintesi "priorità" definito in fase di fotointerpretazione fornisce la prima valutazione; a questa, si aggiungono altre considerazioni, sulla base ad esempio della disponibilità di documenti in possesso dei Dipartimenti che permettono di approfondire specifiche situazioni, oppure anche in base alla selezione o alla esclusione di specifiche tipologie di siti (es: impianti autorizzati già in programmazione). Nella fase di selezione possono essere utilizzate informazioni in possesso di Forze dell'Ordine e di altri Enti.

La metodologia SAVAGER ha inoltre previsto la presentazione dei risultati, sia in termini di siti critici o di risultanze dei primi controlli alle istituzioni (Prefetture, Comuni, Magistratura) e alle Forze dell'Ordine (Carabinieri Forestali) di riferimento locale per verificare la loro disponibilità a una collaborazione all'interno del progetto. In prima istanza per raccogliere ulteriori informazioni sulle situazioni da considerarsi più a rischio e sulle quali concentrare i controlli, secondariamente per l'eventuale organizzazione di ispezioni congiunte nei siti più pericolosi.

In alcuni casi è inoltre stato possibile organizzare sopralluoghi preliminari di chiarimento non invasivi, ad esempio da parte dei Carabinieri o Guardia di Finanza con sorvoli da elicottero, oppure da parte di ARPA stessa tramite droni.

2.2 Risultati ottenuti

Nel corso del 2019 e 2020 la fotointerpretazione è stata applicata all'intero territorio delle province di Pavia, Lodi e Brescia. Questa strategia di sorveglianza estesa a tutto il territorio risulta teoricamente la migliore, in quanto in grado d'individuare ogni situazione visibile di gestione illegale di rifiuti, attivando una capillare azione di prevenzione e repressione. Tuttavia, all'atto pratico, il numero di siti critici da ispezionare è risultato decisamente superiore alle risorse umane e temporali a disposizione dei Dipartimenti.

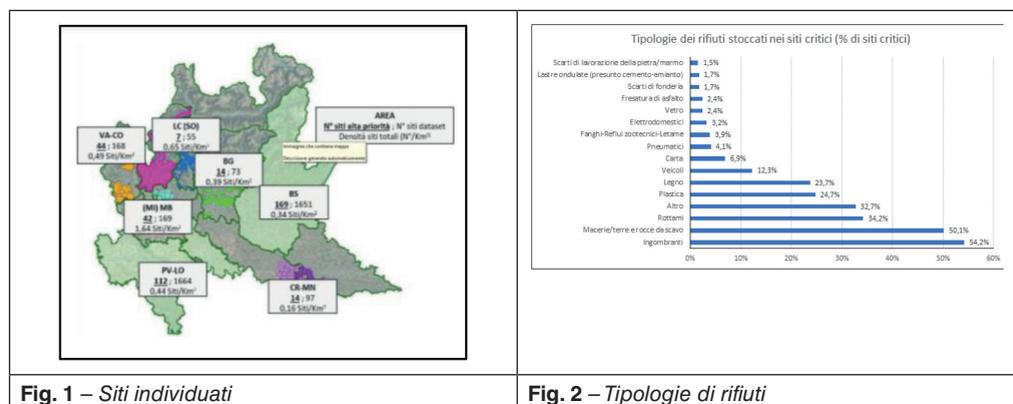
Pertanto, nel 2021 l'analisi di fotointerpretazione è stata applicata su aree vaste delle Province di Como, Varese, Lecco, Bergamo, Monza-Brianza, Cremona e Mantova. Le aree sono

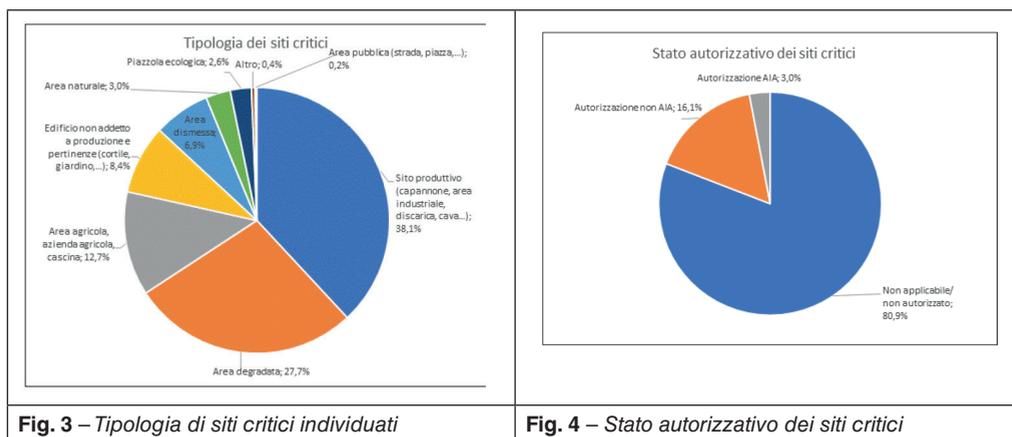
state selezionate in accordo con i Dipartimenti sulla base di pregresse conoscenze di criticità esistenti e, ove possibile, anche su indicazione delle Forze dell'Ordine e/o Autorità locali. La tabella seguente (Tab. 1) riporta una sintesi (al dicembre 2021) del territorio analizzato e dei siti critici rinvenuti.

| Provincia | N° di comuni | Superficie provinciale [km2] | N° comuni analizzati | Sup. analizzata [km2] | % sul totale provinciale | N° Siti critici |
|-----------------|--------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------|
| Bergamo | 243 | 2.755 | 21 | 188 | 6,82 % | 73 |
| Brescia | 205 | 4.786 | 205 | 4.786 | 100,00 % | 1651 |
| Como | 148 | 1.279 | 17 | 108 | 8,44 % | 85 |
| Cremona | 113 | 1.770 | 17 | 348 | 19,5 % | 53 |
| Lecco | 85 | 806 | 14 | 85 | 10,55 % | 55 |
| Lodi | 60 | 783 | 60 | 783 | 100,00 % | 498 |
| Mantova | 64 | 2.341 | 9 | 272 | 11,6 % | 46 |
| Milano | 134 | 1.575 | 0 | 0 | 0,00 % | 0 |
| Monza e Brianza | 55 | 405 | 12 | 103 | 23,43 % | 169 |
| Pavia | 186 | 2.969 | 186 | 2.969 | 100,00% | 1166 |
| Sondrio | 77 | 3.196 | 0 | 0 | 0,00 % | 0 |
| Varese | 139 | 1.198 | 12 | 237 | 19,78 %, | 83 |
| Totali | 1,509 | 23.863 | 553 | 9.879 | 41,40 % | 3879 |

Tab. 1 – Territorio analizzato e siti critici rinvenuti

Le figure seguenti (Figg. 1-4) riportano statistiche relative ai siti individuati.





2.3 Attività di controllo effettuate

Le attività di verifica e quindi di effettivo controllo ispettivo sui siti prioritari sono iniziate nel 2019 nel dipartimento di Lodi-Pavia; mentre nel 2020 ha iniziato il dipartimento di Brescia. Successivamente, le attività di verifica e controllo sono proseguite nelle province di Pavia, Lodi e Brescia, e si sono attivate nei Dipartimenti di Cremona-Mantova e Lecco. Nel corso del 2021 e nel 2022 sono stati avviati i controlli sui siti critici SAVAGER in tutti i Dipartimenti provinciali; questo si è tradotto nell'aumento nel numero di controlli effettuati del 2022 rispetto ai periodi precedenti. L'aumento è significativo, in particolare, in alcuni dei dipartimenti che hanno avviato le attività solo nel 2021 e che quindi hanno instaurato più recentemente rapporti proficui di collaborazione con enti esterni: questo vale in particolare nei casi dei dipartimenti di Bergamo, Varese-Como e Milano-Monza Brianza.

In alcuni casi le Forze dell'Ordine locali, una volta contattate, hanno utilizzato i prodotti della fotointerpretazione per muoversi autonomamente; va sottolineato che le collaborazioni avviate nei diversi territori dipartimentali con i diversi soggetti esterni interessati (Procuri, Prefetture, Carabinieri Forestali, Polizie Locali, ...) si sono in generale consolidate nel 2022, pur presentando specificità tipiche di ogni contesto: le modalità di interazione con i diversi Enti variano in funzione dell'interesse e delle priorità di ogni comando, della disponibilità di personale, dei rapporti di collaborazione pregressi, ecc.

2.4 Sistema informativo di gestione dei controlli e Web GIS

Nell'ambito del progetto, è stato realizzato un sistema informativo e un applicativo Web-Gis, ovvero un data base cartografico per la localizzazione e visualizzazione dei siti dando la possibilità di controllarne lo stato attuale attraverso le immagini di Google Maps, al fine di condividere, tra Settore e Dipartimenti, i risultati della fotointerpretazione ed i risultati delle successive attività di indagine e controllo. Al momento, essendo l'applicativo in fase di test, il suo utilizzo sarà limitato al personale di ARPA. In futuro, si valuterà la possibilità di estendere la fruizione dell'applicativo anche ad utenti esterni ad ARPA. Si tratta di una possibilità strategica per gli sviluppi del progetto SAVAGER che può avvalersi dello stretto coinvolgimento della magistratura e/o delle Forze dell'Ordine o di altri soggetti esterni all'Agenzia.

3. Supporto ai controlli con rilievi da drone

L'utilizzo dei droni in ARPA Lombardia è pienamente operativo per diverse applicazioni di monitoraggio e controllo; anche sulla spinta del progetto SAVAGER, l'Agenzia si è dotata di

diverse tipologie di droni ed ha formato ad oggi 30 piloti, sia appartenenti alla UO CREO sia ai Dipartimenti. Nel progetto SAVAGER i droni sono utilizzati in due modalità:

- Supporto diretto ai controlli di campo: i droni forniscono informazioni quantitative molto accurate sull'estensione, l'altezza e il volume dei cumuli di rifiuti e consentono di individuare la tipologia. L'errore nelle stime volumetriche è generalmente inferiore all'1%. Nei controlli ai grandi impianti di trattamento rifiuti, o in vaste aree con accumuli illeciti diffusi di rifiuti, i droni sono spesso l'unico strumento in grado di fornire una stima accurata dei volumi. Inoltre, i droni risultano di grande utilità nel caso si necessario osservare con dettaglio siti o impianti a morfologia complessa, con differenti materiali accumulati, e nei casi con potenziale presenza di materiali pericolosi.
- Rilievi preliminari o di Intelligence: si tratta di un'attività preliminare all'ispezione in campo, ed è utile per fornire valutazioni aggiornate e di estremo dettaglio prima di un controllo diretto.

4. Conclusioni e sviluppi

Il progetto SAVAGER ha dimostrato l'efficacia dei metodi di Geospatial Intelligence e dell'uso integrato delle tecnologie di Osservazione della Terra da satellite e da drone nella identificazione precoce dei casi di non conformità nella gestione dei rifiuti.

Nato come progetto sperimentale, SAVAGER ha posto le fondamenta infrastrutturali e culturali per trasformarsi in una procedura ordinaria di sorveglianza e controllo. L'ambiente di fotointerpretazione e il relativo manuale, il WebGis per la verifica e la registrazione dei controlli svolti a scala locale, l'uso dell'intelligenza artificiale, l'acquisto di droni dotati di ottiche zoom per i controlli di intelligence, l'acquisto di immagini da satellite sono tutti fattori che permetteranno di sostenere nei prossimi anni la continuazione dell'attività ed il loro progressivo inserimento nelle attività ordinarie di sorveglianza e controllo.

A questo proposito particolarmente promettente è stata la messa a punto di un modello di collaborazione virtuoso tra Sede Centrale e Dipartimenti ARPA da una parte e tra questi ultimi e Forze dell'Ordine, Procure e Prefetture.

Il problema più grosso che la sperimentazione ha messo in luce è la difficoltà delle articolazioni territoriali nel riuscire a "lavorare" efficacemente la quantità di siti critici che la fotointerpretazione a tappeto del territorio è in grado di produrre. Gli elenchi di siti prioritari non controllati sono inoltre destinati a invecchiare velocemente in quanto fanno riferimento a "fotografie" statiche del territorio, facilmente superate dalle sue trasformazioni. Per questi motivi, nel 2022 si è programmata una riduzione delle attività di sorveglianza tipiche della Fase 1, in modo da rafforzare la Fase 2 dei controlli: si è prevista la sorveglianza di porzioni più limitate di territori, e le risorse liberate sono state dirottate a favore di un aumento dell'attività di supporto ai controlli svolti dai Dipartimenti, autonomamente e/o in collaborazione con Forze dell'Ordine, Magistratura e Prefetture. Nel complesso quindi si sta lavorando al bilanciamento delle due fasi, in modo da rendere la filiera sorveglianza-controllo priva di colli di bottiglia e più efficace. Effetti di questa ricalibrazione degli impegni è l'aumento significativo registrato nei primi 6 mesi del 2022 del numero di controlli ARPA su siti SAVAGER e l'aumento del numero di richieste ad ARPA di supporto tecnico nell'ambito di deleghe di indagine (in particolare, per l'utilizzo di rilevii aerofotogrammetrici da drone), anche su siti non SAVAGER.

Bibliografia

- [1] IA nel progetto Savager, collaborazione tra ARPA Lombardia e Politecnico Di Milano. 2020. url: <https://www.arpalombardia.it/Pages/IA-nel-progetto-Savager-collaborazione-tra-Arpa-Lombardia-e-Politecnico-di-Milano.aspx>
- [2] Affinito, Domenico. "Lombardia, i furbetti dei rifiuti «pizzicati» dal cielo con il satellite spia". In:

Corriere della Sera – DataRoom (Mar. 2021). url: <https://www.corriere.it/dataroom-milena-gabanelli/lombardia-furbetti-rifiuti-pizzicati-cielo-il-satellite-spia/6f6827b8-8698-11eb-90f0-a248214a3d06-va.shtml>

[3] Rocio Nahime Torres, Piero Fraternali, “Learning to Identify Illegal Landfills through Scene Classification in Aerial Images”, *Remote Sensing*, 2021, 13, 4520. <https://doi.org/10.3390/rs13224520>

[4] Alice Limoli et al. “Illegal landfill in Italy (EU)—a multidisciplinary approach”. In: *Environmental Forensics* 20 (Feb. 2019), pp. 1–13. doi: 10.1080/15275922.2019.1566291.

[5] Osservatorio nazionale ambiente e legalità. *Ecomafia 2020. Le storie e i numeri della criminalità ambientale in Italia. Saggistica ambientale*. Edizioni Ambiente, 2020. isbn: 9788866272878. Una sintesi all’indirizzo: <https://www.legambiente.it/comunicati-stampa/i-dati-del-rapporto-ecomafia-2020-nel-2019-in-aumento-i-reati-contro-lambiente/>

LA QUALITÀ DELL'ARIA INDOOR: LE SORGENTI DI EMISSIONI, I RICAMBI DELL'ARIA, L'EFFICIENZA ENERGETICA E LE NUOVE TECNOLOGIE NEL CONTROLLO E MONITORAGGIO

Il convegno si propone di fornire una fotografia sulla qualità dell'aria indoor nei diversi ambienti chiusi, che sono stati al centro dell'attenzione nel mondo per il ruolo svolto nel recente shock pandemico, e della sfida aperta dall'intero settore nel campo delle progettazioni legati ai nuovi stili di vita, dei materiali, della ventilazione, dell'efficienza energetica e nelle tecnologie di monitoraggio dell'aria indoor. Lo spazio dedicato alla discussione rappresenterà un momento importante per uno scambio sulle diverse impostazioni in relazione alle sfide che si dovranno affrontare.

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

Analysis of the relationship between environmental fine PM concentrations and indoor air quality

Lorena Nappa, l.nappa@overtechnologies.com, OVER Technologies Società per Azioni, Roma
Gian Marco Sabatucci, g.sabatucci@overtechnologies.com, Roma
[Alessandro Peruzzi a.peruzzi@overtechnologies.com](mailto:Alessandro.Peruzzi.a.peruzzi@overtechnologies.com), Roma
Andrea Lanna a.lanna@overtechnologies.com, Roma
Giuseppe Molinaro g.molinaro@overtechnologies.com, Roma

Riassunto

Questo paper descrive uno studio condotto dalla società OVER S.p.a. relativo all'analisi delle concentrazioni di particolato atmosferico $PM_{2,5}$ nel 2021 in più edifici delle regioni che sono state oggetto dei più alti tassi di inquinamento dell'aria. L'obiettivo principale è analizzare la correlazione tra le concentrazioni di inquinanti atmosferici degli ambienti indoor come funzione di quelli outdoor con la presenza e l'assenza di sistemi di ventilazione forzata o Unità di Trattamento Aria. Sono stati analizzati quindici edifici in cui sono installati i dispositivi di monitoraggio con granularità oraria di registrazione del dato. I risultati ottenuti hanno dimostrato che esiste una correlazione significativa tra le variazioni del $PM_{2,5}$ interno ed esterno e la presenza di Unità di Trattamento per migliorare la qualità dell'aria all'interno degli edifici, evidenziando inoltre anche una variazione importante dell'andamento nei mesi centrali dell'anno che sarà oggetto di studi ed analisi futuri.

Summary

This paper describes an OVER S.p.a. case study about the analysis of the atmospheric particulate $PM_{2,5}$ concentrations in 2021 in several buildings of the Italian regions that have been subject to highest rates of air pollution. The main objective is to analyze the correlation between the concentrations of atmospheric pollutants of indoor environments as a function of outdoor ones with the presence and absence of forced ventilation systems or Air Handling Units. Fifteen buildings were analyzed in which monitoring devices with hourly data recording granularity are installed. The results obtained showed that there is a significant correlation between internal and external $PM_{2,5}$ variations and the presence of Air Handling Unit also highlighting an important change in trend in the central months of the year that will be the subject of future studies and analysis.

1. Introduction

The air that we breathe and its quality are very important elements for the body health. It characterizes the state of well-being and life prospects of all citizens considering outdoor and indoor environments. Air pollution is one of the main environmental risk factors for health in Europe and it can generate adverse effects on different time scales [1]. Air pollution is caused by different air pollutant concentrations of carbon monoxide (CO), ozone (O_3), sulfur dioxide (SO_2), nitrogen dioxide (NO_2) and particulate matter. Particulate matter (PM) is referred to atmospheric particulate with dimensions less than $2,5 \mu m$ ($PM_{2,5}$)

and to particulate with dimensions less than 10 μm (PM_{10}). They are the main reference parameters used in international, national and regional regulations and the subject of epidemiological studies about analysis of health effects for exposure to particulate matter. Several international studies have shown the relation between the high concentrations of PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ in the air and the increase in mortality and hospitalizations related to pulmonary and cardiovascular diseases; the youngest and oldest population with asthma or chronic diseases are the groups where the correlation is strongest [2]. The 99,9% of world's population is breathing a poor-quality air [3]. Europe's air quality status shows an improvement in general conditions in the last half of the last century. However, the results are still not entirely acceptable due to a high rate of polluting emissions into the atmosphere caused by human activity like transport, industrial and energy production sectors especially in the biggest cities. Important are also pollutants and bio-pollutants inside closed rooms as the concentrations of hazardous substances that can be much higher than outside (up to more 5 times) especially in cases of overcrowding and bad air exchanges. It is necessary to identify some strategies that allow the correct management of indoor air quality: the first step is a constant pollutants concentrations values monitoring such as particulate matter, CO_2 and TVOC for both indoor and outdoor conditions. Collecting data and installing forced ventilation plant with filtering systems could make indoor air quality parameters better and can also support the creation of a predictive maintenance algorithm. Correct ventilation with filtering and purification air devices are also fundamental to guarantee the indoor well-being, comfort and safety. So, this paper is based on different case studies about fifteen different building to evaluate the correlation between indoor and outdoor $\text{PM}_{2.5}$ concentration (expressed in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) and then related to the presence or not of Air Handling Unit (AHU). Technological research, innovation and some changes in the citizens' lifestyle are too important to achieve a sustainable development and to allow the decoupling between economic development, quality of life and climate-altering emissions.

2. Materials and method

For this study have been download indoor and outdoor $\text{PM}_{2.5}$ data sets from OVER S.p.a. cloud platform for twelve months' time period from 1st January to 31st December 2021 and with hourly granularity. Data sets input are from OVER devices that measures air quality parameters like CO_2 , CO, TVOC, humidity, temperature, formaldehyde, $\text{PM}_{2.5}$ both for indoor and outdoor pollutants concentrations. For PM the measurement range error is $\pm 5 \mu\text{g}/\text{m}^3 + 15\%$.

In particular, all $\text{PM}_{2.5}$ data are expressed in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and are related to fifteen different buildings in Piedmont, Lombardy and Veneto Italian regions because they showed the highest concentration in 2021 [4]. PM concentration guidelines value are referred to new 2021 World Health Organization's annual $\text{PM}_{2.5}$ guidelines value: 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for annual guidelines value and 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for 24 hours range [5]. The fifteen buildings are divided in two groups: five buildings without AHU (category #1) and ten with filtration system (category #2 and category #3) as described in **Table 1**. They are selected and abbinated in terms of geographical proximity between each building to maintain the same air quality parameters homogeneous. For each building groups all data are represented in a graphic form: on the x-axis the reference time frame for twelve months' time period and on the y-axis the monthly Δy value. For each buildings combination it has been specified the Δy value as the difference between external and internal $\text{PM}_{2.5}$ in the annual period for buildings with or without AHU. Some assumptions have been made to take into account various exogenous factors and these following aspects are not considered:

- processes and phases related to ordinary and extraordinary maintenance;

- replacement of filters of forced ventilation or air treatment systems;
- daily or monthly malfunctions.

The concentration of $PM_{2.5}$, on the other hand, are not referred to:

- percentage of crowding in the internal places of the buildings;
- external vehicles traffic;
- particular atmospheric events.

3. Results

Air treatment systems has a significant role for indoor particulate matter concentrations. In **Fig. 1** and in **Table 1** in the presence of AHU is effective in reducing $PM_{2.5}$ in the periods of the year when the concentrations are the highest. In the winter season the outdoor particulate matter is higher than in spring and summer months caused by domestic thermal plants, vehicle traffic etc. [6]; so, it has been registered Δy values in buildings without AHU lower than buildings with it. In fact, in the central months (April to September) there is a reduction in Δy for all of five groups in the **Table 1**.

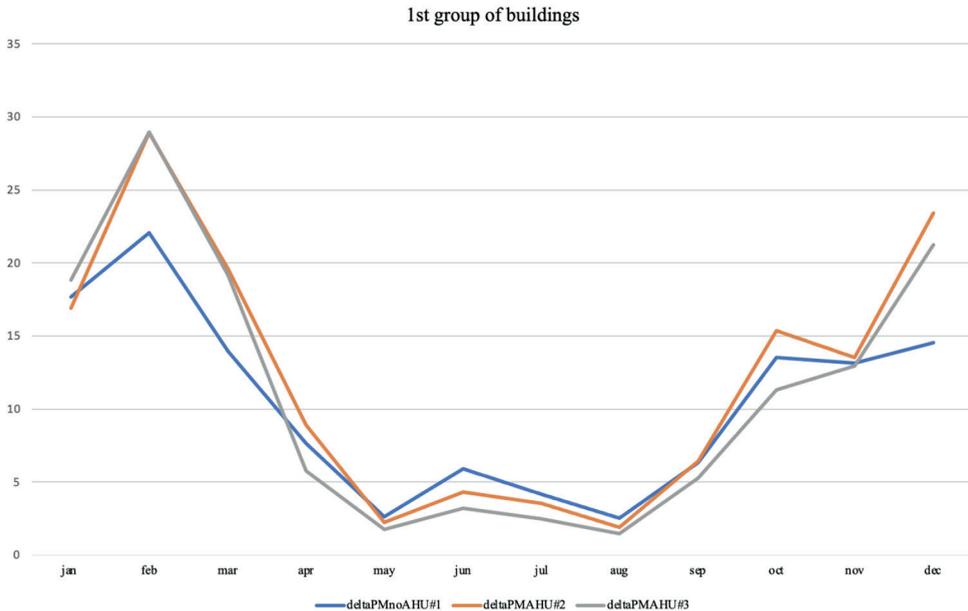


Fig. 1 – Δy example for 1st group of buildings

This confirms scientific literature that exposes some causes as vertical mixing of the air and greater dilution of fine dust due to higher external temperatures, the shutdown of heating systems for domestic use and so on [7][8]. The negative Δy values represent some months of the year in which the concentration of indoor $PM_{2.5}$ is higher than outdoor and this is possible for various causes such as AHU malfunctions, filters not replaced etc. So, another particular case is found in group 5th, in which all buildings in category “#2” with AHU have Δy lower than the other two buildings of the same group; this is related to a no ordinary situation in which in the winter months there were concentrations lower than the average of all the other buildings in the same territory.

| 1st group of buildings | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------|------------|---|------------|------------|---|------------|------------|---|--|
| Month | Building # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | Building # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | Building # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | |
| Jan | 1 | No | 17,68 | 2 | Yes | 16,93 | 3 | Yes | 18,85 | |
| Feb | 1 | No | 22,05 | 2 | Yes | 28,90 | 3 | Yes | 28,98 | |
| Mar | 1 | No | 13,99 | 2 | Yes | 19,60 | 3 | Yes | 19,16 | |
| Apr | 1 | No | 7,65 | 2 | Yes | 8,91 | 3 | Yes | 5,75 | |
| May | 1 | No | 2,62 | 2 | Yes | 2,24 | 3 | Yes | 1,75 | |
| Jun | 1 | No | 5,93 | 2 | Yes | 4,32 | 3 | Yes | 3,19 | |
| Jul | 1 | No | 4,19 | 2 | Yes | 3,57 | 3 | Yes | 2,51 | |
| Aug | 1 | No | 2,55 | 2 | Yes | 1,92 | 3 | Yes | 1,46 | |
| Sept | 1 | No | 6,34 | 2 | Yes | 6,45 | 3 | Yes | 5,30 | |
| Oct | 1 | No | 13,51 | 2 | Yes | 15,36 | 3 | Yes | 11,32 | |
| Nov | 1 | No | 13,17 | 2 | Yes | 13,54 | 3 | Yes | 12,93 | |
| Dec | 1 | No | 14,53 | 2 | Yes | 23,40 | 3 | Yes | 21,23 | |
| Average | | | 10,27 | | | | 12,01 | 10,89 | | |

| 2nd group of buildings | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------|------------|---|------------|------------|---|------------|------------|---|--|
| Month | Building # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | Building # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | Building # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | |
| Jan | 1 | No | 9,19 | 2 | Yes | 24,31 | 3 | Yes | 24,78 | |
| Feb | 1 | No | 14,16 | 2 | Yes | 29,80 | 3 | Yes | 30,37 | |
| Mar | 1 | No | 9,02 | 2 | Yes | 18,81 | 3 | Yes | 21,71 | |
| Apr | 1 | No | 3,64 | 2 | Yes | 10,53 | 3 | Yes | 11,84 | |
| May | 1 | No | -4,67 | 2 | Yes | 3,07 | 3 | Yes | 3,59 | |
| Jun | 1 | No | -20,93 | 2 | Yes | 5,30 | 3 | Yes | 6,69 | |
| Jul | 1 | No | -33,96 | 2 | Yes | 4,23 | 3 | Yes | 5,54 | |
| Aug | 1 | No | -34,76 | 2 | Yes | 2,61 | 3 | Yes | 3,70 | |
| Sept | 1 | No | -23,94 | 2 | Yes | 7,86 | 3 | Yes | 9,33 | |
| Oct | 1 | No | 4,10 | 2 | Yes | 16,42 | 3 | Yes | 17,41 | |
| Nov | 1 | No | 4,70 | 2 | Yes | 13,08 | 3 | Yes | 15,82 | |
| Dec | 1 | No | 12,03 | 2 | Yes | 23,02 | 3 | Yes | 30,03 | |
| Average | | | -5,35 | | | | 13,12 | 14,99 | | |

| 3rd group of buildings | | | | | | | | | |
|------------------------|------------|------------|---|------------|------------|---|------------|------------|---|
| Month | Building # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | Building # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | Building # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] |
| Jan | 1 | No | 3,35 | 2 | Yes | 21,29 | 3 | Yes | 43,09 |
| Feb | 1 | No | 4,69 | 2 | Yes | 25,74 | 3 | Yes | 41,28 |

Segue

| | | | | | | | | | |
|---------|---|----|-------|---|-----|-------|---|-----|-------|
| Mar | 1 | No | 3,28 | 2 | Yes | 18,16 | 3 | Yes | 29,91 |
| Apr | 1 | No | 2,46 | 2 | Yes | 11,23 | 3 | Yes | 15,26 |
| May | 1 | No | 1,09 | 2 | Yes | 4,13 | 3 | Yes | 1,96 |
| Jun | 1 | No | 1,23 | 2 | Yes | 8,23 | 3 | Yes | 3,08 |
| Jul | 1 | No | 0,36 | 2 | Yes | 6,97 | 3 | Yes | 2,46 |
| Aug | 1 | No | 1,07 | 2 | Yes | 3,48 | 3 | Yes | 0,16 |
| Sept | 1 | No | 4,26 | 2 | Yes | 7,63 | 3 | Yes | 12,11 |
| Oct | 1 | No | 8,53 | 2 | Yes | 12,46 | 3 | Yes | 30,16 |
| Nov | 1 | No | 6,62 | 2 | Yes | 11,37 | 3 | Yes | 23,52 |
| Dec | 1 | No | 14,63 | 2 | Yes | 23,02 | 3 | Yes | 51,75 |
| Average | | | 4,3 | | | 12,74 | | | 21,15 |

4th group of buildings

| Month | Buil- ding # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | Buil- ding # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | Buil- ding # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] |
|---------|-----------------|---------------|---|-----------------|---------------|---|-----------------|---------------|---|
| Jan | 1 | No | -5,67 | 2 | Yes | 17,79 | 3 | Yes | 13,90 |
| Feb | 1 | No | -1,48 | 2 | Yes | 26,64 | 3 | Yes | 17,69 |
| Mar | 1 | No | 1,28 | 2 | Yes | 19,45 | 3 | Yes | 14,36 |
| Apr | 1 | No | 1,10 | 2 | Yes | 10,41 | 3 | Yes | 7,93 |
| May | 1 | No | 0,00 | 2 | Yes | 2,17 | 3 | Yes | 1,96 |
| Jun | 1 | No | 0,19 | 2 | Yes | 4,33 | 3 | Yes | 3,57 |
| Jul | 1 | No | 0,08 | 2 | Yes | 3,09 | 3 | Yes | 2,57 |
| Aug | 1 | No | 0,03 | 2 | Yes | 2,58 | 3 | Yes | 1,63 |
| Sept | 1 | No | 0,41 | 2 | Yes | 7,87 | 3 | Yes | 6,04 |
| Oct | 1 | No | -0,54 | 2 | Yes | 18,28 | 3 | Yes | 11,84 |
| Nov | 1 | No | -2,25 | 2 | Yes | 14,51 | 3 | Yes | 9,68 |
| Dec | 1 | No | -2,61 | 2 | Yes | 25,34 | 3 | Yes | 17,16 |
| Average | | | -0,79 | | | 12,58 | | | 8,98 |

5th group of buildings

| Month | Buil- ding # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | Buil- ding # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | Buil- ding # | AHU system | Δy [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] |
|-------|-----------------|---------------|---|-----------------|---------------|---|-----------------|---------------|---|
| Jan | 1 | No | 26,07 | 2 | Yes | 6,28 | 3 | Yes | 23,34 |
| Feb | 1 | No | 24,75 | 2 | Yes | 9,64 | 3 | Yes | 35,47 |
| Mar | 1 | No | 14,99 | 2 | Yes | 5,76 | 3 | Yes | 12,18 |
| Apr | 1 | No | 7,15 | 2 | Yes | 4,68 | 3 | Yes | 11,49 |
| May | 1 | No | -0,87 | 2 | Yes | 1,04 | 3 | Yes | 3,08 |
| Jun | 1 | No | 0,47 | 2 | Yes | 0,65 | 3 | Yes | 9,73 |
| Jul | 1 | No | 0,99 | 2 | Yes | 1,10 | 3 | Yes | 7,84 |

Segue

| | | | | | | | | | |
|---------|---|----|-------|---|-----|-------|---|-----|-------|
| Aug | 1 | No | -0,04 | 2 | Yes | 0,73 | 3 | Yes | 6,01 |
| Sept | 1 | No | 4,72 | 2 | Yes | 3,71 | 3 | Yes | 14,31 |
| Oct | 1 | No | 18,96 | 2 | Yes | 15,29 | 3 | Yes | 21,88 |
| Nov | 1 | No | 14,29 | 2 | Yes | 8,64 | 3 | Yes | 13,95 |
| Dec | 1 | No | 30,14 | 2 | Yes | 8,35 | 3 | Yes | 36,71 |
| Average | | | 11,75 | | | 5,47 | | | 16,25 |

Tab. 1 – Summary table of indoor and external $PM_{2,5}$ concentrations for five group of Italian buildings in 2021

4. Conclusions

The results obtained from the air quality sensors installed in Italian regions' buildings are useful to highlight that there is a correlation between internal and external $PM_{2,5}$ variations (as expressed in Δy values) and the presence of AHU for all the five groups. This correlation is more significant in the winter months when the concentrations of $PM_{2,5}$ are higher due to the heating systems switching on, the temperatures that do not allow air currents and fine dust mixing. This confirms scientific literature results about particulate matter concentrations in the central months of the year.

Some anomalies in the data series are also useful to carry out studies about detecting malfunctions, replacing filters and developing a predictive maintenance algorithm for AHU systems. These topics will be the subjects for future surveys and analyzes from OVER S.p.a. to increase better performance in air quality management and to support organization to reach social and environmental sustainability goals.

References

- [1] **ASviS**, *Gruppo di Lavoro sul Goal 11-Qualità dell'aria*, Position Paper, May 2022.
- [2] **AIPO**, *Qualità dell'aria e Salute*, <http://www.aiponet.it/editoria/aipo-ricerche-edizioni/libri-e-manuali/381-qualita-dell-aria-e-salute.html>.
- [3] **Jamey Keaten**, *WHO says 99% of world's population breathes poor-quality air*, AP News, <https://apnews.com/article/science-health-asia-united-nations-environment-dafbedfa74d46297e013a5f47ced010d>.
- [4] **Andrea Minutolo, Laura Bevacqua, Irene Colognesi**, *Mal'aria di città*, Legambiente, February 2022.
- [5] **World Health Organization**, *WHO global air quality guidelines*, 2021.
- [6] **Kåre Press-Kristensen, Margherita Tolotto**, *Where there's fire, there's smoke - Emissions from domestic heating with wood*, Environmental Bureau, September 2021.
- [7] **Epidemiological Observatory ASL Brescia**, *Fine dust and short-term effects on health in the Brescia ASL*, Lombardy Region, July 2015.
- [8] **Lombardy Region**, *Gli impatti del riscaldamento a legna sulla salute e sulla qualità dell'aria*, <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informazioni/cittadini/Tutela-ambientale/Qualita-dell-aria/impatti-riscaldamento-a-legna-su-salute-e-aria/impatti-riscaldamento-a-legna-su-salute-e-aria>.

An indoor case study: analysis of fragrances in a house during cleaning operations and under normal conditions

Serena Santoro, serena.santoro@iia.cnr.it, CNR-IIA, Monterotondo (RM)

Marina Cerasa, marina.cerasa@iia.cnr.it, CNR-IIA, Monterotondo (RM)

Paola Romagnoli, paola.romagnoli@iia.cnr.it, CNR-IIA, Monterotondo (RM)

Massimiliano Frattoni, massimiliano.frattoni@iia.cnr.it, CNR-IIA, Monterotondo (RM)

Paolo Ceci, ceci.paolo@mite.gov.it, CNR-IIA c/o Ministero della Transizione Ecologica, Roma

Catia Balducci, catia.balducci@iia.cnr.it, CNR-IIA, Monterotondo (RM)

Riassunto

Il lavoro ha lo scopo di presentare un caso studio condotto nell'ambito di un progetto realizzato in collaborazione con il Ministero della Transizione Ecologica sull'inquinamento indoor. Il caso studio ha riguardato l'analisi di alcune fragranze, sostanze con comprovate proprietà di allergizzanti e in alcuni casi di interferenti endocrini, durante le operazioni di pulizia. Lo studio è stato realizzato in due ambienti domestici trattati con due detergenti, uno multisuperficie e l'altro per parquet. Le sostanze misurate sono state il limonene e l' α e β -pinene; inoltre è stata effettuata una determinazione quantitativa di altre fragranze quali la canfora, il citronellolo, il terpineolo, il geraniale e il lillial.

Lo studio ha rivelato, in media, aumenti dell'ordine di cento volte nei livelli dei terpeni limonene e α -pinene. In assenza di un'adeguata ventilazione, la riduzione della concentrazione è stata lieve o assente nelle ore successive alle operazioni di pulizia.

In futuro la ricerca potrebbe essere estesa ad altre fragranze e a un numero maggiore di ambienti come i luoghi di lavoro.

Summary

This paper aims to present the results of a case study conducted as part of a project carried out in collaboration with the Italian Ministry of Ecological Transition. The case study was focused on the analysis of some fragrances, substances which present proven allergenic and, in some cases, endocrine-disrupting properties, during cleaning operations. The study concerned two rooms treated with two detergents, one multi-surface and one for parquet. The substances investigated were limonene, α and β -pinene; moreover, a quantitative determination of other fragrances such as camphor, citronellol, terpineol, geranial and lillial was carried out.

The study revealed, on average, increases of the order of hundred times in the levels of the terpenes limonene and α -pinene. In the absence of adequate ventilation, the decrease of concentration was mild or absent during the hours following the cleaning operations.

In the future the research could be extended to other fragrances and to a higher number of environments like workplaces.

1. Introduction

Several studies have shown association between the use of cleaning products and adverse

effects on the respiratory tract, like asthma. These studies concerned both workplaces and domestic environments during cleaning operations [1-4].

However, few studies have been focused on the analysis of terpenes and other fragrances, which are part of the Volatile Organic Compounds (VOCs) group, during cleaning operations, although these substances are widely used in cleaning products and rise concern for their known or potential effects on human health. Indeed, they can cause allergies in the form of contact dermatitis, eczema and hives [5]. The effects on the respiratory tract are still under investigation but it seems they can induce asthma, rhinitis, bronchospasm and dyspnoea [6, 7]. Fragrances are also associated with neurotoxic and endocrine disrupting effects [6, 8].

The most investigated fragrances are limonene and α -pinene which directly or indirectly, through their reaction products with ozone, can lead to sensitisation reactions or worsening of air quality causing the formation of ultrafine secondary particulate matter (UFP) [9, 10].

This study aims to investigate the presence and the behaviour of some fragrances in indoor air during cleaning operations to provide more knowledge on this field, considering that indoor air quality has become a major human health concern.

2. Report

2.1 *Materials and methods*

2.1.1. *Analytical standards*

The substances investigated were limonene, α and β -pinene. Moreover, a quantitative determination of other fragrances such as camphor, citronellol, terpineol, geranial and linalil was carried out. All standards, marketed by Supelco, Sigma-Aldrich, Germany were of purity grade $\geq 98\%$. They were Fragrance allergen mix A1 (24 components, product no. 89131) and Fragrance allergen mix A2 (40 components, product no. 16558).

2.1.2. *Sampling and analysis*

The VOCs were sampled through active sampling on multilayer carbon cartridges. Samplings were carried out in parallel in three locations: Area A, Area B and one outdoor. The two areas corresponded to two rooms, where Area A was treated with a multi-surface detergent whose product label reported the presence of limonene, linalool, citronellol and coumarin; while in Area B a detergent for parquet containing limonene and geraniol was used.

The experiment was conducted by carrying out samples of 1h at the air flow rate of 50 ml/min: one before the cleaning operations with open windows (Pre), another one during the cleaning operations with closed windows (Cleaning operations) and two back-to-back after the cleaning operations with the windows open (Post 1 and Post 2). The background condition of the fragrances in the house was assessed by samplings of about 4 hours at the air flow rate of 50 ml/min in the outdoor station and in Area B, away from cleaning operations. All samplings were carried out by reducing as much as possible the presence of the inhabitants to avoid any interference. A scheme of the experiment conducted is shown in Figure 1.

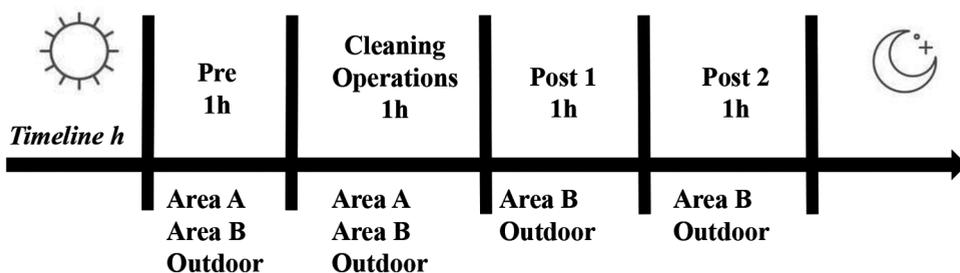


Fig. 1 – scheme of the experiment carried out

The analyses were subsequently performed by thermal desorption-GC/MS.

2.2 Concentrations of limonene, α -pinene and β -pinene

The results showed a marked increase in limonene and α -pinene within the rooms during cleaning operations.

Figure 2A-C shows the concentrations of limonene, α -pinene and β -pinene respectively outdoor, in the room cleaned with the detergent for parquet (Area B) and in the room cleaned with the multi-surface detergent (Area A).

- Outside the concentrations of the three substances were lower than those found inside (maximum concentration $0.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for limonene). An increase in the concentrations of limonene and to a lesser extent of α -pinene was observed during the cleaning operations, despite the fact that the window of the room where the cleaning operations took place was closed. Furthermore, in correspondence to the opening of the window of Area A (Outdoor Post 1 in Figure 2A-C) the concentration of α -pinene has increased again, together with β -pinene, demonstrating the contribution given to the external air by the inside activities.

Between one and two hours after the cleaning operations and with the window constantly open, the concentrations of the three substances, albeit in a decreasing phase, were higher than at the starting conditions. This means that they continued to be emitted from inside.

- Inside the house a marked increase of limonene and α -pinene was observed. During cleaning operations, the concentrations of limonene increased from 0.3 to $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Area B and from 0.2 to $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Area A. Moreover, the concentrations of the three substances were slightly higher in Area A, treated with the multi-surface detergent.

In Area B, in which two other measurements were made after washing the floor, concentrations of α -pinene continued to rise; it could be possible to attribute this increase to a product of a reaction that took place inside. Also for β -pinene an increase of the concentration was observed in the first sampling period after washing (concentrations of β -pinene equal to <the limit of detection with open window, $0.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ during cleaning operations, $0.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ immediately after cleaning and $0.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ between 1 and 2 hours after cleaning). The concentration of limonene gradually dropped over the next two hours.

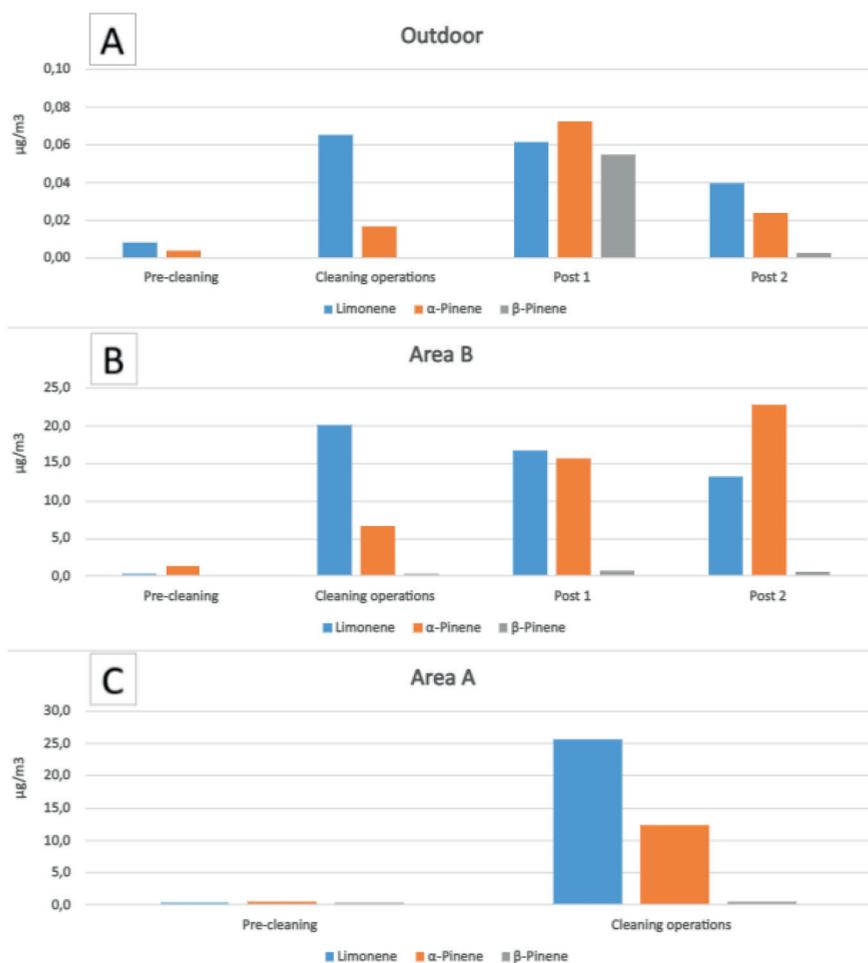


Fig. 2 A-C - concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of limonene, α -pinene and β -pinene respectively outdoor, in the room cleaned with the detergent for parquet (Area B) and in the room cleaned with the multi-surface detergent (Area A)

The unexpected increase in α -pinene and to a lesser extent β -pinene, following the cleaning operations in Area B, may be due to the enrichment of the air because of the evaporation of the compounds during the drying process or it can be indicative of the presence of reactions that can take place inside and originate secondary products.

2.3 Concentrations of the other fragrances identified in Area A and in Area B

The richness of the chromatograms in terms of interferences, due to the high number of unknown substances emitted during cleaning operations, has often hindered the determination of the other fragrances.

Figures 3 and 4 show the results for the other fragrances identified in Area A and Area B. During cleaning operations concentrations of the substance classified as toxic for reproduction and suspected to be an endocrine disruptor linal were approximately $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in both areas. Concentrations of the other fragrances were generally higher in the room treated with

the multi-surface detergent, in particular for camphor. Citronellol was present only in Area A, while menthol only in Area B. Geranial and terpineol were present in both areas.

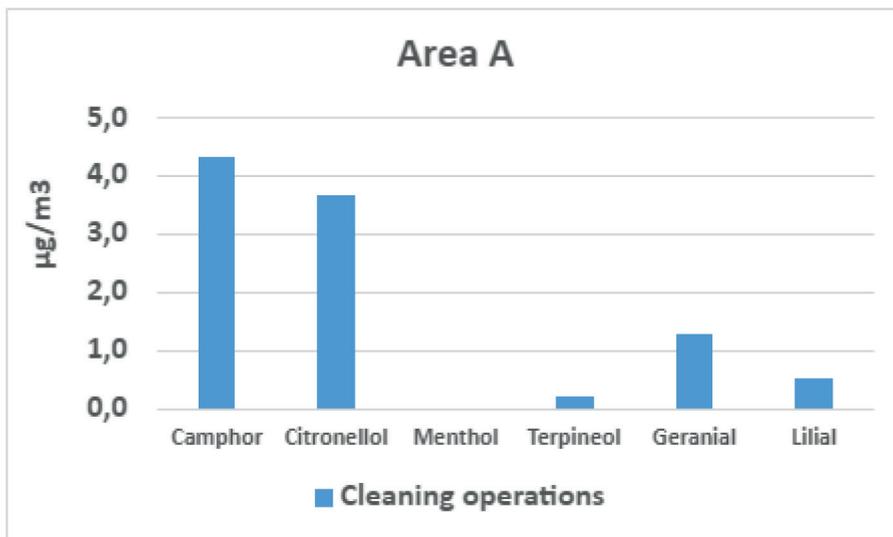


Fig. 3 – fragrances identified in Area A during cleaning operations

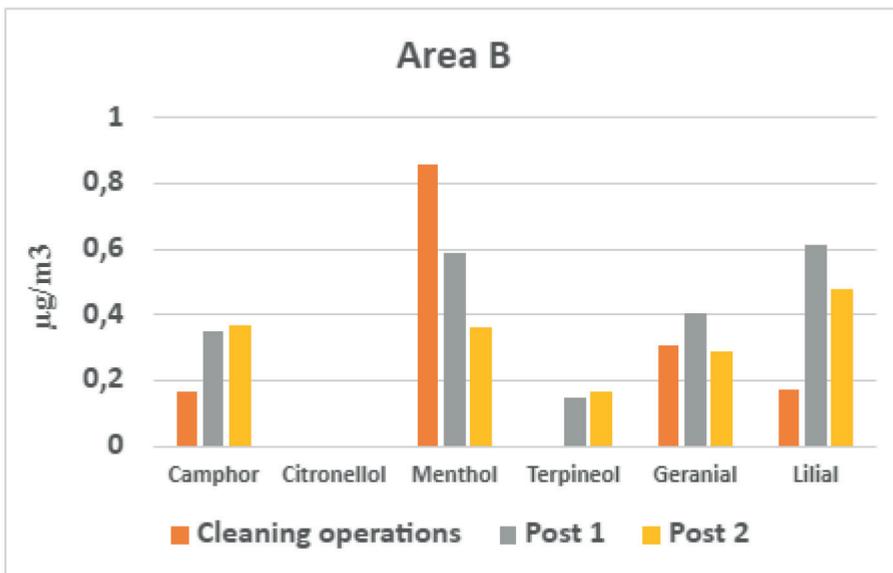


Fig. 4 – fragrances identified in Area B during and after cleaning operations

The results of the samplings performed to assess the background condition of the fragrances in the house are shown in Figure 5 A-B for fragrances at lower and higher concentrations respectively. The presence of a smaller number of interferents in the sample made it possible to determine the presence of other fragrances in addition to those already identified dur-

ing the cleaning operations, i.e., α -terpinene, trans-anethole, folione, jasmine, the three aldehydes benzaldehyde, amylcinnamaldehyde and hexylcinnamaldehyde and the skin sensitising α -isomethyl ionone. Lillial has always been found, albeit in lower concentrations. Geranial that was identified in the previous sampling was absent. As expected, the two fragrances present at higher concentrations were limonene and α -pinene.

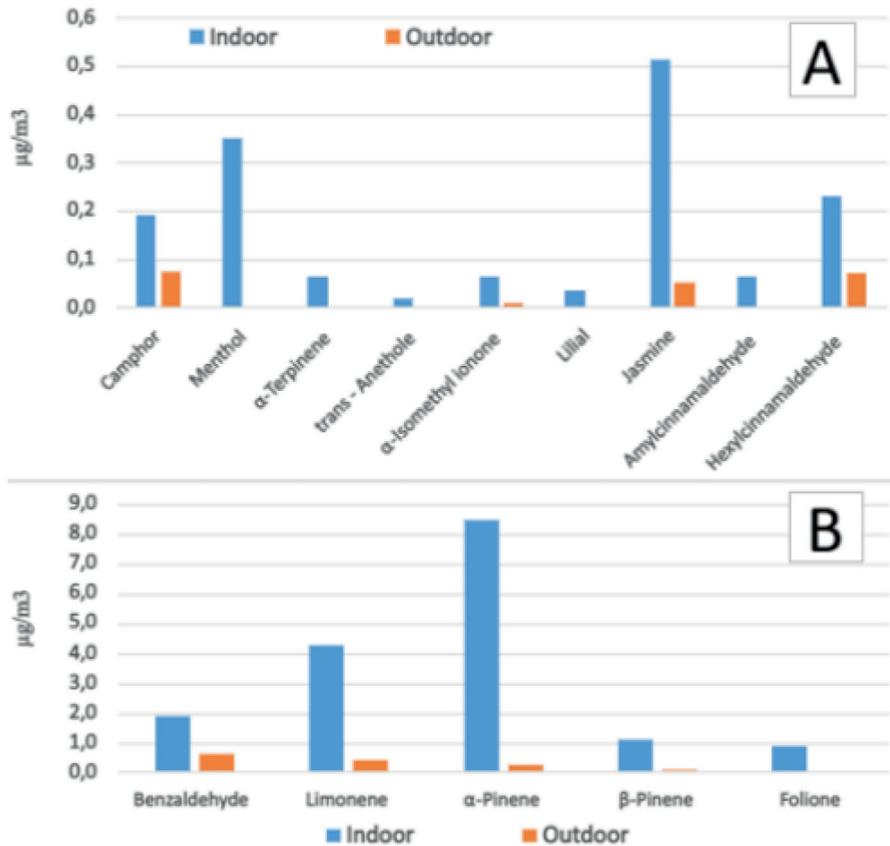


Fig. 5 A-B – background condition of the fragrances outdoor and in Area B. A: fragrances with lower concentrations; B: fragrances with higher concentrations

3. Conclusions

The study revealed, on average, increases of the order of hundred times in the levels of the terpenes limonene and α -pinene during cleaning operations. It is important to highlight that in the absence of adequate ventilation, the decrease of concentration was mild or absent during the hours following the cleaning operations.

In the future the research could be extended to other fragrances and to a higher number of environments like workplaces to provide adequate information on the behaviour of these substances with the aim to better understand how they can affect human health.

References

[1] De Troeyer K., De Man J., Vandebroek E., Vanoirbeek JA., Hoet PH., Nemery B., Vanroelen C.,

- Casas L., Ronsmans S.**, “Identifying cleaning products associated with short-term work-related respiratory symptoms: A workforce-based study in domestic cleaners”, *Environ. Int.* 2022, 162:107170, DOI: 10.1016/j.envint.2022.107170;
- [2] **Wieck S., Olssona O., Kümmerera K., Klaschkab U.**, “Fragrance allergens in household detergents”, *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2018, 97:163-169, DOI: 10.1016/j.yrtph.2018.06.015;
- [3] **Vincent, M.J., Parker, A., Maier, A.**, “Cleaning and asthma: a systematic review and approach for effective safety assessment”, *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2017, 90: 231–243, DOI: 10.1016/j.yrtph.2017.09.013;
- [4] **Siracusa A., De Blay F., Folletti I., Moscato G., Olivieri M., Quirce S., Raulf-Heimsoth M., Sastre J., Tarlo S.M., Walusiak-Skorupa J., Zock J-P.**, “Asthma and exposure to cleaning products—a European Academy of Allergy and Clinical Immunology task force consensus statement”, *Allergy* 2013, 68: 1532–1545, DOI: 10.1111/all.12279;
- [5] **Christensson J.B., Hagvall L., Karlberg A.T.**, “Fragrance allergens, overview with a focus on recent developments and understanding of abiotic and biotic activation”, *Cosmetics* 2016, 3, 19, DOI: <https://doi.org/10.3390/cosmetics3020019>;
- [6] **Patel S., Homaei A., Sharifian S.**, “Need of the hour: To raise awareness on vicious fragrances and synthetic musks”, *Environ. Dev. Sustain.* 2020, 23 (Suppl. 3): 4764–4781, DOI: 10.1007/s10668-020-00829-4;
- [7] **Basketter D., Kimber I.**, “Fragrance sensitizers: Is inhalation an allergy risk?”, *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2015, 73:897-902, DOI: 10.1016/j.yrtph.2015.09.031;
- [8] **Pastor-Nieto MA., Gatica-Ortega ME.**, “Ubiquity, Hazardous Effects, and Risk Assessment of Fragrances in Consumer Products”, *Curr. Treat. Options Allergy* 2021, 8(1): 21–41, DOI: 10.1007/s40521-020-00275-7;
- [9] **Angulo Milhem S., Verrielle M., Nicolas M., Thevenet F.**, “Indoor use of essential oil-based cleaning products: Emission rate and indoor air quality impact assessment based on a realistic application methodology”, *Atmospheric Environment* 2021, 246: 118060, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118060>;
- [10] **Kruza M., McFiggans G., Waring, M. S., Wells, J. R., Carslaw N.**, “Indoor secondary organic aerosols: Towards an improved representation of their formation and composition in models”, *Atmospheric Environment* 2020, 240: 117784, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117784>.

Smart information on air quality: strengths and weaknesses of information circulating around the world

*Alessandra Fino, alessandra.fino@iia.cnr.it, Francesca Vichi, francesca.vichi@iia.cnr.it, Cristina Leonardi, cristina.leonardi@iia.cnr.it
CNR – Istituto sull’Inquinamento Atmosferico, Area della Ricerca di Roma 1 Montelibretti (Roma)*

Riassunto

L'inquinamento atmosferico ha un grande impatto sulla salute umana e sull'ambiente, e questo ha spinto le autorità ad attuare politiche e misure specifiche per ridurre le emissioni di inquinanti atmosferici e a fornire al pubblico informazioni sui livelli di inquinamento atmosferico. La disponibilità di informazioni è davvero aumentata nel corso degli anni e ora è possibile trovare molti dati sul web ma è necessario fornire al pubblico informazioni affidabili, semplici e chiare. L'indice di qualità dell'aria (AQI) è, in tal senso, un utile strumento utilizzato in tutto il mondo per informare la popolazione sullo stato della qualità dell'aria. Gli AQI possono essere calcolati applicando diverse metodologie e diversi standard nazionali di qualità dell'aria, ma ci sono diversi punti di forza e di debolezza che dovrebbero essere presi in considerazione. Questo articolo descrive gli AQI istituzionali e come sono condivisi con il pubblico in molti paesi, selezionati per fornire un quadro ampio e generale, e descrive alcuni aspetti e criteri che rappresentano i loro principali punti di forza e di debolezza.

Summary

Air pollution has a great impact on human health and the environment, and this has prompted authorities to implement specific policies and measures to reduce emissions of air pollutants and to provide the public with information on the air pollution levels. The availability of information has really increased over the years, and it is now possible to find a lot of data on the web; but it is necessary to provide the public with reliable, simple and clear information. The air quality index (AQI) is a useful tool used all over the world to inform the population about the state of air quality. AQIs can be calculated by applying different methodologies and different national air quality standards, but there are several strengths and weaknesses that should be taken into consideration. This article describes the institutional AQIs and how they are shared to the public in many countries, selected to provide a broad picture and describes some aspects and criteria that represent their main strengths and weaknesses.

1. Introduction

The huge impact of air pollution on human health [1, 2] has prompted the authorities to implement specific policies and measures to reduce air pollutant emissions and to make publicly available to citizens the levels of pollution where they live, with the associated health risks, in order to reduce their exposure.

Nowadays all countries use different methodologies, instruments, and media in order to

spread data and information on air quality. The tools used can include traditional media, but also websites, social media, and mobile apps.

The air quality index (AQI) is described as “a communication tool and a standardized summary measure of ambient air quality used to express the level of health risk related to particulate and gaseous air pollution”, and is worldwide used to inform the general population about the state of air quality [3]. The purpose of the AQI is to inform people about the air quality in a simple, concise, readable and timely manner, so they can take steps to protect their health. The index is an easy way to provide updated and localized information, allowing the authorities to give early warnings to the population in case of high levels of pollution and to provide behavioral suggestions for vulnerable people.

The AQI is also useful to compare the spatial and temporal patterns of air quality and to implement prediction systems. In many cases, readable and colored formats are associated to AQI's levels in order to show the correlated health impact messages and interactive maps are also often provided.

Several apps are also available to give simple information on air quality to the public and to boost the interest in such information and to increase public awareness on this issue.

In order to understand the effectiveness of the tools used to disseminate information some studies were carried out by performing ad-hoc surveys on individuals' familiarity with the air quality index to test the population awareness on the availability of these tools and their possible use. A specific study was carried out by Beaumont in the United Kingdom in which a survey was conducted on these issues by sending a questionnaire to the general public. According to this study, the public needs “local” information concerning the area where they live, but they chose the most popular and reliable mass media as information sources even though those sources normally provide data on a larger spatial scale [4]. A study carried out in Mexico showed a high awareness on the air quality indexes (53%), especially in urban areas, mainly among older and more educated people and when the information was conveyed by healthcare providers [5].

Generally, many countries publish information about AQIs on their official websites, but there are also plenty of non-official websites where it is possible to find global AQIs calculated in order to give information on air pollution across the whole world. It is important to be aware of using official sources when the AQIs are employed for institutional purposes.

2. Report

This article describes the institutional AQIs, website and apps used in many countries distributed in Europe, America, Asia, and Australia, and selected to give a quite wide picture of different tools used and of air quality information provided to citizens.

2.1 Analysis of the AQIs

The AQIs can be calculated applying different methodologies but from a general point of view, there are some common criteria that should be considered when elaborating an index:

- the index should be based on valid and official air quality data, in order to provide reliable information describing the general exposure of the population
- it should consider all relevant pollutants and possibly their synergies and be related to the official national standards
- it should be clear and able to show the air quality status in simple terms, especially when describing the possible impacts of pollutants on human health.

The main AQIs used at institutional global level are described in the overview carried out by Fino et al. [6]. They can be described by dividing them into two main groups: single- and multi-contaminant-oriented AQIs [7]. Single-contaminant-oriented AQIs are determined

by the maximum value of worst pollutants while multi-contaminant-oriented AQIs consider multiple effects due to more pollutants. Indexes of the latter category are more complex and less comparable but give more complete information on the possible impacts of air pollutants on health.

Currently, most AQIs implemented by authorities, such as those of USA and China, are based on one pollutant, which may greatly underestimate the impact of multiple contaminants [8]. In some countries, the information is provided through an air quality health index (AQHI) that is directly connected with the effects that air pollution can produce on human health. It seems that a multi-pollutant index based on health impacts associated to the levels of air pollutants is a more complete tool to protect people from exposure to multiple air pollutants. There are different indexes developed in Europe both at the institutional level and as a result of research studies. The harmonized index developed by the European Union is described and used as the main reference for the whole of Europe.

Many American countries are also investigated and the United States and Canada for North America, and Mexico, Argentina, Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Paraguay, Peru, Uruguay, and Venezuela for Latin America were considered. Some similarities have been found in the choices made by some countries, and mainly the USA Environment Protection Agency (USEPA) general methodology was implemented in some Latin American countries.

For some Asian countries, it was quite difficult to find all necessary information, but air quality indexes applied in India, Korea, China, and Thailand are reported, observing that also in this area some USEPA choices are used as a reference. Finally, a section on Australia is also reported.

An overview of the main countries' AQIs is provided in Figure 1, where the pollutants considered by each country are reported.

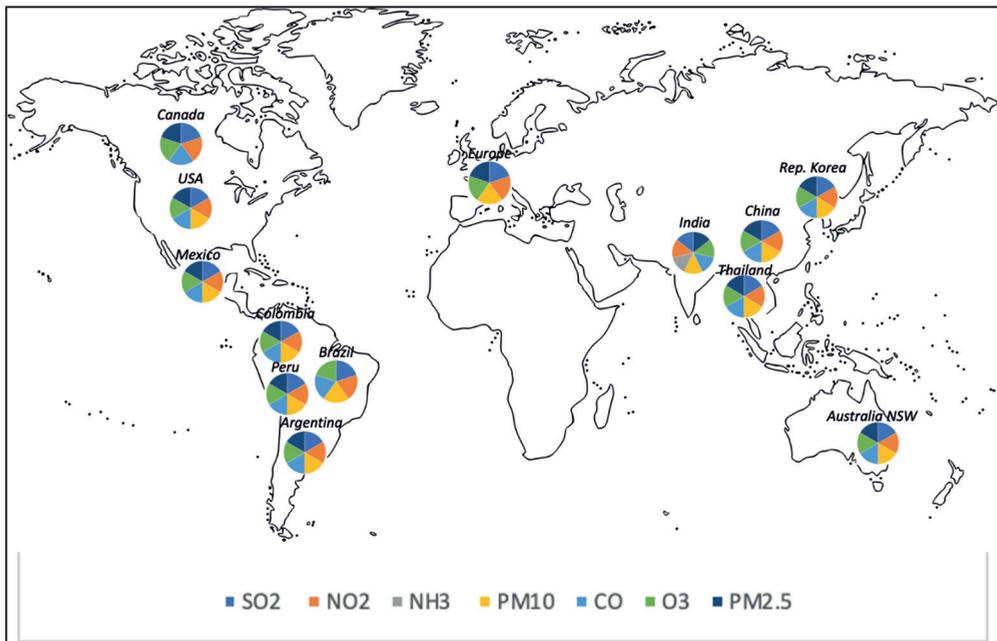


Fig. 1 – Overview of the main countries' AQIs and the considered pollutants

Analyzed AQIs are based on the following seven pollutants: nitrogen dioxide (NO₂), sulphur dioxide (SO₂), particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5}), ozone (O₃), carbon monoxide (CO) and ammonia (NH₃).

Figure 1 shows that almost all countries consider five pollutants (NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃) on the seven considered. Only India considers all the seven pollutants in its AQI. The USA sets its AQI on a quite complete group of pollutants (NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, CO) while Europe considers a smaller group of pollutants (NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃).

Table 1 reports the averaging times considered by main countries' AQI.

| | SO ₂ 1-hr | SO ₂ 24-hr | NO ₂ 1-hr | NO ₂ 3-hr | NO ₂ 24-hr | NH ₃ 24-hr | PM ₁₀ 1-hr | PM ₁₀ 12-hr | PM ₁₀ 24-hr | CO 1-hr | CO 8-hr | CO 24-hr | O ₃ 1-hr | O ₃ 3-hr | O ₃ 4-hr | O ₃ 8-hr | PM _{2.5} 1-hr | PM _{2.5} 3-hr | PM _{2.5} 12-hr | PM _{2.5} 24-hr |
|-----------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|---------|---------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| EUROPE | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | | | | | ✓ | | | | | | | ✓ |
| REP. OF KOREA | ✓ | | ✓ | | | | | | | | | | ✓ | | | | | | | ✓ |
| CHINA | | ✓ | | | ✓ | | | | | | ✓ | | ✓ | | | | | | | ✓ |
| INDIA | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | | | | ✓ |
| THAILAND | ✓ | | ✓ | | | | | | ✓ | ✓ | | | ✓ | | | | | | | ✓ |
| USA | ✓ | | ✓ | | | | | | ✓ | ✓ | | | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ |
| CANADA | ✓ | | ✓ | | | | | | | ✓ | | | ✓ | | | | | | | ✓ |
| CANADA - AQHI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ |
| MEXICO | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | | | | | | ✓ |
| ARGENTINA | ✓ | | ✓ | | | | | | | | ✓ | | ✓ | ✓ | | | | | | ✓ |
| BRAZIL | | ✓ | ✓ | | | | | | | | ✓ | | ✓ | | | | | | | ✓ |
| CHILE | | | ✓ | | | | | | | | ✓ | | ✓ | | | | | | | ✓ |
| COLOMBIA | ✓ | | ✓ | | | | | | | | ✓ | | ✓ | | | | | | | ✓ |
| PERU | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ |
| AUSTRALIA (NSW) | ✓ | | ✓ | | | | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | | ✓ |

Tab. 1 – Averaging times of the main countries' AQIs

From the analysis of Table 1, it appears clear that there is great variability in the averaging times chosen by different countries for the calculation of their AQIs. As expected, the AQI averaging times were based on those of the respective national air quality standards. The advantage of short averaging times is to provide alerts to the population in case of peak episodes.

2.2 Air Quality Indexes on the websites and related web Applications

In Table 2, information on AQIs given through websites and APPs are compared in terms of accessibility (meaning if it is easy or not to find the information surfing on the web), clarity (to what extent information is clear and complete), graphic appeal (meaning if data are represented in a nice looking and modern way). The table mentions also if real time AQIs are available, and the source of the information analysed.

| Country | | Ac-ces-sibility | Real time index | Clarity | Graphic Appeal | Language | Source |
|----------------|-------------|-----------------|-----------------|---------|----------------|-----------------|-----------|
| European Union | Website/app | easy | yes | high | high | English | EEA |
| Germa-ny | Website/app | easy | yes | high | average | German/English | UBA |
| Spain | Website | average | yes | high | high | Spanish | MITECO |
| France | Website | not easy | no (24 hours) | average | average | French | ATMO |
| Rep. of Korea | Website | easy | yes | high | high | English | AIRKO-REA |
| China | Website | not easy | yes | low | average | Chinese/English | MEE |

Segue

| Country | | Ac- ces-sibility | Real time index | Clarity | Graphic Appeal | Language | Source |
|------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------|-------------------|-----------------------------|---|
| India | Website/ app | easy | yes | high | high | English | CPCB |
| USA | Website/ app | easy | yes | high | high | English | Airnow (US EPA) |
| Canada | Website | not easy | yes | high | average | English/ French | Government of Canada |
| Messico | Website/ app | easy | yes | high | high | Spanish | Gobierno de la Ci- udad de Mexico |
| Argentina | Web site | easy | no | high | average | Spanish | Agencia de Pro- teccion Ambiental (APrA) |
| Brazil | Website | easy | yes (PM) | high | average | Portu- guese/ English | Brasilian CETESB |
| Chile | App | easy | yes | high | high | Spanish | Aire- santiago (Ministero del Medio Ambiente) |
| Colom-bia | Website | easy | no (last 24 hrs) | high | high | Spanish/ English | Area Met- ropolitana (Valle de Aburrà) |
| Uru-guay | Website | average | no | high | average | Spanish/ English | Intenden- cia Mon- tevideo |
| Austra-lia | Website | easy | yes | average | low | English | Govern- ment of West Aus- tralia |

Tab 2. – Analysis of air quality information available on line. *Legenda: Accessibility: easy - quite easy - not easy Clarity: low – average - high Graphic Appeal: low - average - high*

On the EEA website it is quite easy to access all necessary information to understand the level of air pollution in the different European Union Countries; on the main webpage it is also possible to access the web application through the related QR code. Information is easy understandable and quite pleasant to the eye.

The information available for Germany on the UBA website it is also very clear; maybe it could be improved on the graphic point of view.

All the tools give quite easy and clear information on the general state of air quality; it is explicitly reported that the index represented on the maps is the result of a composition of data related to the main pollutants.

The choice of UBA to make visible also the difference between stations, for which all pollutants are available and those for which some pollutants are missing, is quite useful.

Spanish website is also clear, complete and updated while no specific official apps are used and the use of the EEA app is recommended. On the contrary French website is not so easy to be found and less complete data are available.

Regarding Asian countries, complete information is available for the Republic of Korea and India, for which a mobile app is also available. Less accessible and complete is the information related to China.

The air quality indexes developed and used in USA and Canada, in particular the former one, constitute a reference for many other countries in the world, in particular for some central American countries, which have adopted it. The EPA (Environmental Protection Agency) disseminates the AQI by means of a website and of an APP (AIRNOW). The design and graphic interface, both of the website and of the app, are easy to use, since they are based on the search of the specific location through its zip code. On the other hand, Canada has defined an AQI, conceptually analogous to the ones implemented in the rest of the world, and an AQHI (Air Quality Health Index), with each unit of increase equivalent to about 1% increase in daily mortality.

Central and South American countries have developed AQIs in some cases focused on PM concentrations which constitute the most urgent air pollution problem of this geographic area (for instance Chile has developed an AQIs referred only to PM₁₀ concentration). Mexico City municipality has issued a specific App (AIRE) which is quite user-friendly enabling a search based on a list of locations and reporting on a map the AQIs calculated for each location, A similar APP (AIRESANTIAGO) has been developed also for Santiago in Chile. Two AQIs were implemented in Brazil one by the São Paulo State Environmental Agency (CETESB) and by the Municipal Department of the Environment (SMAC) and the State Environmental Agency (INEA) in Rio de Janeiro. In Argentina the air quality index, Índice de Calidad de Aire (ICA) is based on the US EPA. The air quality index ICA is calculated from the measurement of concentration in the air of five basic pollutants, which are: CO, SO₂, NO₂, O₃, and PM₁₀.

2.3 Strengths and weaknesses.

As appears from the described analysis, each country made different choices to define the AQIs and to communicate the main information on the air quality status to the public. Due to its conception and to different calculation methods, AQIs suffer of certain limitations. The AQIs reported in the information media are usually determined by the highest concentration pollutant among the set of species chosen, but they can also be aggregated and thus obtained through calculation expressions involving more than one species. This last type of AQIs is less common.

A weakness of the most widespread AQIs that consider the highest concentration pollutant, is the “eclipsing” effect due to reporting only the worst pollutant index (pollution is then underestimated by AQI), thus minimizing the perception of danger. Moreover, this kind of simplified indexing may also lead to the unrealistic idea that individuals are exposed to a single pollutant at a time. On the other hand, a false alarm concerning air quality, commonly indicated as “ambiguity” (pollution is overestimated by AQI), can also be due to the peculiar features of the index employed [9].

Normally the AQIs disseminated through official media are the most simply conceived indexes. It is indeed necessary to make a balance between the scientific soundness of the index used and the need to provide easy and intuitive information to the public.

3. Conclusions

Availability of information has really increased over the years, and it is possible to find many data on the web; on the other hand, such a high availability can also be critical for non-experts because it is quite difficult to distinguish official and accurate information in the large amount of available data.

Simplified information is necessary, especially for the public, and information given through the AQIs on the websites and APPs, is a useful tool. AQIs are an attempt to synthesize air pollution information and permit comparisons to be readily undertaken, and to satisfy public demands of data easily readable, but strengths and weaknesses of each method, should be taken into consideration.

If, on one hand, the AQIs are readily understandable by the public, are usually linked to specific National Ambient Air Quality standards (and to their averaging times) and can be usable as an alert system; on the other hand, AQIs shall be based on valid air quality data obtained from monitoring stations that are situated in correct ways to represent the general air quality exposure of citizens, should consider the synergisms between different pollutants and should avoid both the “eclipsing” and the “ambiguity” effects, described by literature.

These limitations can be overcome by aggregated indexes, which in many cases are provided by statistical treatment, using a big dataset that refers to different monitoring sites, pollutants, and time series.

References

- [1] **World Health Organization.** WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2021; pp. 1–267.
- [2] **European Environment Agency.** Air Quality in Europe—2020 report. EEA Report N. 2020, 9,
- [3] **Kowalska, M.; Ośródk, L.; Klejnowski, K. Zejda, J.E.; Krajny, E.; Wojtylak, M.** Air quality index and its significance in environmental health risk communication. *Arch. Environ. Prot.* 2009, 35, 13–21.
- [4] **Beaumont, R.; Hamilton, R.S.; Machin, N.; Perks, J.; Williams, I.D.** Social awareness of air quality information. *Sci. Total Environ.* 1999, 235, 319–329
- [5] **Borbet, T.C.; Gladson, L.A.; Croma, K.R.** Assessing air quality index awareness and use in Mexico City. *BMC Public Health* 2018, 18, 538.
- [6] **Fino, A., Vichi, F., Leonardi, C., & Mukhopadhyay, K.** (2021). An Overview of Experiences Made and Tools Used to Inform the Public on Ambient Air Quality. *Atmosphere*, 12(11), 1524.
- [7] **Tan, X.; Han, L.; Zhang, X.; Zhou, W.; Li, W.; Qian, Y.** A review of current air quality indexes and improvements under the multi-contaminant air pollution exposure. *J. Environ. Manage.* 2021, 279, 111681.
- [8] **Perlmutter, L.; Stieb, D.; Cromar, K.** Accuracy of quantification of risk using a single pollutant Air Quality Index. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2017, 27, 24–32.
- [9] **Plaia, A.; Ruggieri, M.** *Air quality indexes: A review. Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 2011, 10, 165–179.

Inquinanti organici in ambienti indoor in università italiane

Paola Romagnoli romagnoli@iia.cnr.it, *Catia Balducci* balducci@iia.cnr.it, *Marina Cerasa*, marina.cerasa@iia.cnr.it, *Mattia Perilli* mattia.perilli@iia.cnr.it, *Angelo Cecinato* Cecinato@iia.cnr.it

National Research Council of Italy, Institute of Atmospheric Pollution Research (CNR-IIA),
Via Salaria km 29.3 – P.O. Box 10, I-00015, Monterotondo RM, Italy.

Riassunto

Lo scopo di questo articolo è presentare le problematiche ed i risultati di una ricerca focalizzata sulla qualità dell'aria indoor attraverso la raccolta di polveri di deposizioni (dust) in differenti ambienti universitari. Abbiamo utilizzato un nuovo metodo di campionamento semplice e idoneo alle nostre necessità di monitorare contemporaneamente numerosi siti, ma durante l'attività di ricerca, la mancanza di standardizzazione di un processo di raccolta delle polveri anche in letteratura, ha indebolito il confronto tra i dati dei congeneri analizzati. Abbiamo cercato di dimostrare come le polveri di deposizione indoor insieme ai parametri atmosferici siano un significativo indicatore della qualità ambientale poiché la loro elevata superficie consente l'accumulo e la conservazione dei contaminanti per periodi più lunghi rispetto a quelli adsorbiti dalle particelle negli aerosol e dalle polveri esterne potenzialmente più soggette a processi di degradazione e di diluizione più probabili.

Summary

The aim of this paper is to present problems and results of research focus of the indoor air quality through the collection of deposition powders (dust) in different university environments. A new simple and suitable sampling method was used to our needs to monitor simultaneously numerous sites, but during the research activity, an absence of standardization of a dust collection process in the literature, has weakened the comparison between data of the congeners analysed with potential systemic toxicity and carcinogenicity. Analysis of the of indoor dusts, in addition to atmospheric parameters, are a significant indicator their high surface area allows for the accumulation and conservation of contaminants for longer periods than those adsorbed by particles in aerosol and outdoor dusts potentially subject to more likely degradation and dilution processes

1. Introduzione

L'inquinamento degli ambienti interni gioca un ruolo chiave per quanto riguarda l'esposizione umana a sostanze tossiche, causando un impatto negativo sulla salute, dato che le persone nell'arco della giornata trascorrono oltre l'85% della loro vita al chiuso. Numerosi studi [1,2] mettono in evidenza che la concentrazione di inquinanti *indoor* degli ambienti di vita e di lavoro è spesso superiore e di diversa distribuzione da quella, ben nota, dai rispettivi esterni. La qualità dell'aria *indoor* è stata finalmente riconosciuta come obiettivo imprescindibile di una strategia integrata relativa all'inquinamento atmosferico nel suo complesso, riconoscendo una salutare aria indoor come un diritto umano fondamentale. Le differenti abitudini e attività svolte all'interno degli ambienti, unite alla natura privata delle abitazioni non rendono,

però, attualmente possibile un monitoraggio standardizzato delle diverse realtà *indoor*. In aggiunta, si deve considerare che l'inquinamento *indoor* non è regolato da riferimenti legislativi che individuano valori limite e i metodi di riferimento, cosa che esiste per l'inquinamento atmosferico *outdoor*, per ora ci sono solo linee guida. Di conseguenza non è facile individuare indicatori per ottenere una lettura d'insieme del fenomeno dell'inquinamento *indoor*, e dei relativi impatti sulla salute. In Italia per ora solo Mannino e Orecchio [3] hanno investigato le concentrazioni di idrocarburi policiclici aromatici IPA nelle polveri *Dust* in selezionate case, uffici, market e auto a Palermo. Avendo l'inquinamento *indoor* origine sia da fonti esterne che interne, è facile comprendere che le sole misure relative alla riduzione delle concentrazioni esterne, dipendenti direttamente dal fattore di infiltrazione delle singole particelle e regolato dai tipi di sistema di ventilazione, non sono sufficienti a garantire una buona qualità dell'aria negli ambienti confinati. Le polveri (*Dust*) insieme ai parametri atmosferici possono rappresentare un'attendibile misura della contaminazione ambientale e di valutazione degli effetti sulla salute umana, dato i minori fenomeni chimico-fisici di decomposizione a cui possono essere soggetti rispetto agli inquinanti *outdoor* o delle polveri in atmosfera. Data la mancanza di una procedura di campionamento standardizzata, noi abbiamo cercato di utilizzarne una che potesse essere la più idonea possibile alle nostre necessità avendo bisogno di monitorare contemporaneamente un numero elevato di siti. Una campagna di misura mediante raccolta di polveri di deposizione all'interno di cinque università italiane è stata condotta dal nostro gruppo CNR per un mese durante ottobre-novembre 2019. Sono state esaminate diverse tipologie di siti in ciascuna università e, se possibile, sono stati raccolti ulteriori campioni all'aperto. La ricerca fa parte del Progetto "Volontari per Natura" realizzato in collaborazione con Legambiente riguardo il monitoraggio di ambienti *indoor* in alcune città italiane per cercare di fare un bilancio riguardo la qualità dei luoghi in cui trascorriamo le giornate e prevedere i futuri effetti sulla salute umana. Nelle polveri raccolte sono stati analizzati gli inquinanti organici: n-alcani, (IPA). Questo nostro studio è uno dei pochi con l'obiettivo di valutare le concentrazioni, la distribuzione degli inquinanti e alcune delle principali fonti di emissione dei composti organici nelle polveri provenienti da ambienti interni e cercare di colmare tale lacuna.

2. Relazione

2.1 Procedura raccolta campioni

Sono state raccolti campioni di polveri di deposizione *indoor* in 5 università rispettivamente nelle città di Bologna, Palermo, Ancona, Genova e Perugia. In questa campagna si è cercato di garantire l'uniformità e l'omogeneità dei campioni raccolti e la rappresentatività dei luoghi esaminati. Sono stati distribuiti dei questionari al personale universitario per fornire informazioni dettagliate sulle attività in corso, tipologia di edificio e stanze, numero di persone e fumatori, tipi di ventilazione e distanza dalla strada. Purtroppo, non abbiamo informazioni per tutti i luoghi analizzati. Tutte i siti erano ventilati naturalmente mediante l'apertura di finestre. Sebbene sia vietato fumare all'interno del Campus Universitari, visitatori, lavoratori e studenti non hanno seguito tale regola nelle aule negli uffici e specialmente nei corridoi durante le pause. Durante il campionamento erano presenti, studenti e professori che hanno condotto le consuete attività quotidiane. Per quanto riguarda la modalità di monitoraggio è molto più semplice rispetto alle tradizionali difficoltà del campionamento attivo dell'aria. Tutti i campioni sono stati raccolti utilizzando un contenitore di alluminio rettangolare 5.5 x 24.9 x 36.8 cm situata ad un'altezza di installazione consigliata di 1-2 m dal livello del pavimento. Dopo 30 giorni, questo contenitore è stato chiuso imballato e trasportato in laboratorio. La superficie della piastra sarà pulita intrappolando le polveri in una membrana filtrante al quar-

zo precedentemente pulito. La quantità di polvere è stata determinata gravimetricamente. L'elevata differenza del peso totale delle polveri può essere derivata direttamente da diverse fonti, traffico veicolare, attività umane, e dalle condizioni ambientali del sito, infine, dipende soprattutto dall'attenzione alla procedura di confezionamento del campione. In laboratorio, i campioni di polvere sono stati posti a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ fino a ulteriori analisi. La procedura analitica per composti organici non polari, IPA e polari è stata perfezionata in un precedente lavoro [4]. Le analisi sono state eseguite mediante gas-cromatografia accoppiata con uno spettrometro di massa operante nella modalità ioni positivi (SIM) e ad un sistema di acquisizione dati dedicato.

2.2 *Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)*

Gli idrocarburi policiclici aromatici comprendono numerosi composti; tuttavia, il nostro studio ha riguardato, in particolare, i congeneri con riconosciuta tossicità e cancerogenicità, come riportato dalle linee guida della USEPA, oltre ad alcuni isomeri utili per identificare le fonti di emissioni e stimare la permanenza media degli IPA negli ambienti chiusi. Come ben noto, non tutti gli IPA hanno uguale potere cancerogeno o mutageno (esistono tabelle d'equivalenza o di potenza relativa, in base alle cellule o organismi-bersaglio), né la stessa stabilità in aria (la velocità di decomposizione in presenza di ozono e ossidanti fotochimici, ovvero della luce visibile e ultravioletta). In totale sono stati analizzati 17 IPA dai più volatili (tre anelli aromatici condensati) a quelli più pesanti (sei anelli): fluorene (FL); fenantrene (FN); antracene (ANT); acenaftalene (ACN); pirene (PY); fluorantene (FT); retene (RT); benz[a]antracene (BaA); crisene (CH); benzo[b]fluorantene; benzo[j]fluorantene+benzo[k]fluorantene (BjkF); benzo[e]pirene (BeP); benzo[a]pirene (BaP); perilene (PE); indeno([1,2,3-cd]pirene (IP); dibenz[a,h]antracene (DBahA); benzo[ghi]perilene (BPE). Durante la stagione autunnale nelle università sono stati raccolti complessivamente 17 campioni indoor e 5 outdoor. La tipologia di ambienti interni monitorati va dalle aule (N=8), corridoi (N=5), sale lettura (N=2), biblioteca, un atrio. Per l'elaborazione dati e analisi, la biblioteca è stata considerata insieme alle sale studio e l'atrio ai corridoi. Le sostanze chimiche analizzate nei siti interni sono principalmente generate localmente da processi di combustione ed emissioni principalmente legate alle attività umane, mentre il fattore di intrusione delle singole particelle, regolato dalle tipologie del sistema di ventilazione e dalle abitudini di pulizia, rappresenta aliquote minori all'inquinamento. Dato le deviazioni standard così alte, confermate dall'ampia variazione delle concentrazioni di IPA e dalla percentuale dei vari congeneri da sito a sito, possiamo considerare come il tipo e l'impatto delle singole fonti di emissioni varino assecondo la tipologia del luogo e delle attività umane svolte nei vari ambienti. Per questo, inoltre, è stata deciso per una maggior correttezza statistica di valutare quando necessario anche la mediana come parametro statistico. In generale, la polvere interna delle università in ogni città è risultata più contaminata dell'aria esterna e per la maggior parte dei composti esaminati si riscontra la presenza di sostanze inquinanti anche non rilevabili all'esterno. Nella seguente tabella 1 sono rappresentati i valori medi di IPA per ogni singolo ambiente universitario. Come possiamo notare gli siti più inquinati sono senza dubbio le aule con un valore medio di 102.2 ± 149.3 seguite dai corridoi dove c'è la presenza di numerosi fumatori. Le deviazioni standard sono molto elevate indicando come le differenze degli ambienti interferiscono sui valori dei congeneri. Nella figura 2 sono riportati in percentuale gli IPA totali per i diversi siti monitorati.

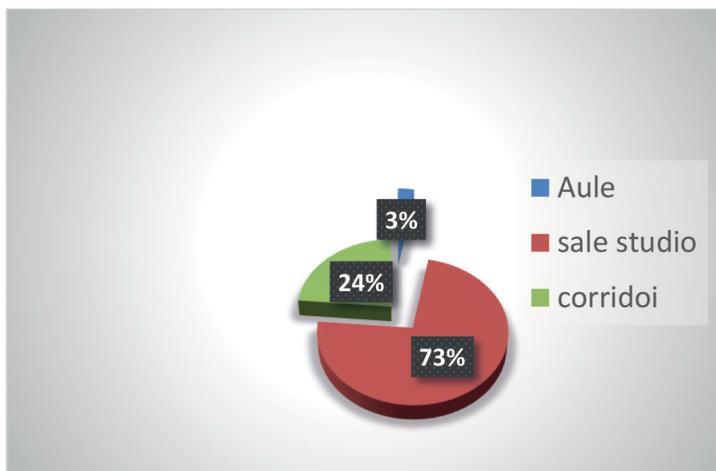


Fig. 1 – Percentuale IPA per differente tipologia di siti nelle università

Per individuare le eventuali sorgenti caratteristiche degli inquinanti monitorati, sono stati utilizzati alcuni specifici rapporti diagnostici tra alcuni omologhi [5], come riportati in tabella 2. Nell'insieme indicavano molto spesso la presenza di almeno due sorgenti antropiche (traffico veicolare e combustione da tabacco), e un minor grado di invecchiamento delle polveri nelle sale studio non aspettato ($BeP/BaP = 0.73$) come riportato in tabella 2 dato che il valore > 1 indica che la fonte di emissione è vicina e fresca che non ha subito processi di degradazione importanti.[6] Dai risultati ottenuti risultano inoltre fonte importante di emissione i vari processi di combustione, in particolare la presenza di mezzi pesanti con emissioni diesel insieme alle polveri della strada sospese tramite sfregamento di freni e ruote. Differenze ulteriori sono state riscontrate per il retene (RT) (IPA marker della combustione di biomassa arborea) con valori compresi tra 0.13 ng/mg aule e 0.37 ng/mg in sale studio.

| Composto ng/mg | Aule | Corri- doio | Sala lettura | Media Indoor | Outdoor | I/O |
|--------------------------|--------|----------------|-----------------|----------------|-------------|--------|
| Benzo[a]antracene | 1,73 | 0,92 | 0,36 | 1,21 ± 1,03 | 0,05± 0,02 | 22,38 |
| Crisene | 6,10 | 0,69 | 0,39 | 3,00 ± 8,04 | 0,19 ± 0,08 | 12,89 |
| fenantrene | 34,78 | 8,01 | 2,14 | 18,62 ± 44,75 | 0,31 ± 0,20 | 35,40 |
| antracene | 2,11 | 15,28 | 0,59 | 6,76 ± 20,40 | 0,05 ± 0,04 | 106,81 |
| fluorantene | 9,23 | 2,15 | 0,89 | 5,01 ± 9,87 | 0,22 ± 0,20 | 13,35 |
| pirene | 2,06 | 0,78 | 0,31 | 1,25 ± 1,31 | 0,12 ± 0,17 | 11,81 |
| retene | 0,13 | 0,18 | 0,37 | 0,21 ± 0,21 | | 12,30 |
| Benzo[b]Fluorantene | 3,09 | 1,55 | 0,51 | 2,03 ± 2,31 | 0,11 ± 0,01 | 15,93 |
| Benzo[K+j]Fluorantene | 0,68 | 0,93 | 0,62 | 0,76 ± 0,71 | 0,16 ± 0,06 | 4,01 |
| Benzo[e]pirene | 0,90 | 0,73 | 0,30 | 0,72 ± 0,69 | 0,13± 0,03 | 6,23 |
| Benzo[a]pirene | 0,67 | 0,58 | 0,24 | 0,55 ± 0,49 | 0,04 ± 0,02 | 9,28 |
| Perilene | 1,05 | 0,74 | 0,34 | 0,80 ± 0,66 | 0,04 ± 0,02 | 17,56 |
| indeno [1,2,3-cd] pirene | 0,13 | 0,41 | 0,27 | 0,30 ± 0,30 | 0,12 ± 0,13 | 3,08 |
| Benzo[g,h,i]perilene | 0,67 | 0,50 | 0,34 | 0,54± 0,60 | 1,36 ± 2,12 | 0,59 |
| dibenzo[a,h]antracene | 0,87 | 0,63 | 0,28 | 0,64 ± 0,62 | 0,06 ± 0,06 | 11,26 |
| acenaftene | 3,01 | 0,51 | 0,21 | 1,55 ± 2,34 | 0,03 ± 0,03 | 41,51 |
| fluorene | 35,77 | 4,85 | 1,68 | 17,78± 41,22 | 0,09 ± 0,10 | 145,28 |
| IPA TOTALI | 102,19 | 38,34 | 9,72 | 60,91 ± 104,58 | 3,06 ± 2,79 | 21,22 |

Tab. 1 – Media di IPA per ogni tipologia di sito indoor e outdoor

I dati di BaA/(BaA+CH) confermano della presenza di elevati fenomeni e processi di combustione sia naturale che antropogenica. L'importanza del traffico veicolare sia diesel che da macchine catalizzate come già detto, è inoltre anche supportato dal rapporto Fl/(Fl+PY). Nelle città con porti il contributo dell'attività portuale non è assolutamente trascurabile.

| Rapporti Diagnostici | Aule | Sale studio | Corridoi |
|----------------------|-------|-------------|----------|
| Fl/Fl+Pyr | 0,719 | 0,798 | 0,806 |
| BaA/BaA+CH | 0,486 | 0,446 | 0,559 |
| IP/IP+BghiP | 0,459 | 0,430 | 0,508 |
| BaP/BeP | 0,674 | 0,733 | 0,569 |
| BaP/BghiP | 0,529 | 0,477 | 0,766 |
| ANT/(PHE+ANT) | 1,009 | 0,393 | 0,620 |
| Fla/fla+Pyr | 0,482 | 0,760 | 0,427 |

Tab.2 – Rapporti diagnostici calcolati nei diversi siti universitari

Il valore di FLA/(FLA+PYR) da 0.50-0.80 indica che nelle università c'è una presenza di combustione di biomassa (erba, legno, carbone) ma come dimostrano gli altri rapporti diagnostici la principale fonte deriva dal traffico (BaP/BghiP ≥ 0.6) in particolare quello veicolare. A Perugia sono stati monitorati all'università aule in tre piani diversi e si è notato che il piano più alto è risultato il più inquinato di tutti, con valori dei rapporti diagnostici che sembrano suggerire come fonte principale la combustione da materiale organico proveniente probabilmente direttamente da diverse attività interne.

2.3 n-Alcani

Nell'analisi degli alcani sono stati esaminati gli omologhi con numero di atomi di carbonio

compreso generalmente tra 14 e 36 (C14÷C36). Considerato per tutti gli ambienti sono presenti elevati valori di C14 e specialmente C15, per gli altri idrocarburi lineari presenti nelle Dust raccolte, le percentuali variano dalla tipologia da sito a sito evidenziando come le fonti interne anche per gli Alcani come per gli IPA, subiscono variazioni secondo le attività svolte quotidianamente in tali ambienti, i prodotti utilizzati, il livello di accumulo sulle superfici, confermando, quanto l'analisi delle polveri di deposizione sia un indicatore affidabile per lo studio della qualità dell'aria. In generale, comunque, dai grafici delle università risultano diversi comportamenti sovrapposti causa di fonti di inquinamento differenti. Le concentrazioni indoor di n-alcani sono superiori a quelle in ambiente esterno, con una distribuzione di singoli congeneri in percentuale differente da quella negli ambienti *outdoor*. Una distribuzione monomodale a campana con carboni dal C23- C32 caratteristici di fonti biogeniche ad alta vegetazione cere vegetali, una a dente di sega per gli alcani più leggeri o superiori a C31, fornendo un mix di emissioni caratteristiche di fonti prettamente biogeniche e allo stesso tempo antropogeniche assolutamente non trascurabili. Ciò è verificabile inoltre analizzando i valori del CPI_{25} "carbon preference index CPI_{25} " in media per l'*indoor* ($CPI_{25} = 1.2$) caratteristico di sorgenti antropiche (tab. 3). La percentuale (%WaxCn) è il contributo delle emissioni da alta vegetazione nelle polveri associate al materiale organico. Nel caso delle aule sono state fatte due elaborazioni poiché un'aula (aula 1) nell'università di Genova aveva dei valori molto più alti delle altre, facendo variare notevolmente la composizione percentuale media rispetto a tutte le altre aule come possiamo osservare nella figura 2. Infatti, gli elevati valori di quest'aula porta a una diminuzione della percentuale di C15 ed un aumento di quella di tutti gli altri composti, specialmente da C24 a C31 caratterizzato da un andamento molto più a campana segno di fonti in prevalenza antropogeniche e con prevalenza di alcani a catena dispari. In media nelle università tali congeneri sono caratterizzati da un basso valore di alcani a catena corta intorno a C20 mentre sono presenti elevati picchi da C14-C15 e con concentrazione dovute probabilmente a sorgenti non facilmente individuabili ma necessariamente prodotte da emissioni molto vicine legate ad attività antropiche interne quotidiane. Inoltre, risulta evidente un andamento a campana con distribuzione costituita da alcani ad elevato peso molecolare con picchi C29-C33, contemporaneamente a un evidente andamento a dente di sega confermando un mix di emissioni caratteristiche di fonti prettamente biogeniche e allo stesso tempo antropogeniche

| Università | Palermo | Bologna | Ancona | Perugia | Genova |
|--------------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Alcani ng/mg | 1.01±0.65 | 3.96 | 3.91±4.29 | 1.33±1.30 | 1.81±0.33 |
| CPI_{25} | 1.56 | 1.2 | 1.69 | 1.9 | 1.1 |

Tab. 3 – Media n-alcani totali e rispettivi valori di CPI_{25} nelle città delle università

Confrontando i vari ambienti indoor è indicativo il fatto che la presenza di sorgenti interne porta alla tendenza all'accumularsi di inquinanti più di quanto non accada per l'esterno. Ciò è stato analizzato più dettagliatamente mettendo a confronto le varie tipologie di siti indoor, insieme per tutte le città, osservando le medie totali e studiando le varie percentuali presenti dei singoli n-Alcani. Come possiamo notare gli ambienti *indoor* più inquinati per quel che riguarda gli n-alcani sono risultate le aule delle università

3. Conclusioni

Le composizioni percentuali degli IPA policiclici aromatici presentavano differenze, e i distinti valori di alcuni specifici rapporti diagnostici, seppur presi con le dovute cautele, dimostravano la presenza di un mix di fonti di emissione per gli inquinanti. Come già detto,

molto interessante è la conferma che nelle polveri di deposizione raccolte nelle varie città e siti, a differenza del particolato aereo-disperso sono predominanti gli IPA con minore peso molecolare rispetto ai più pesanti e cancerogeni, quindi le polveri di deposizione potrebbero ritenersi meno nocive e irrilevanti ai fini degli effetti sulla salute, ma così non risulta anche da studi precedenti [6].

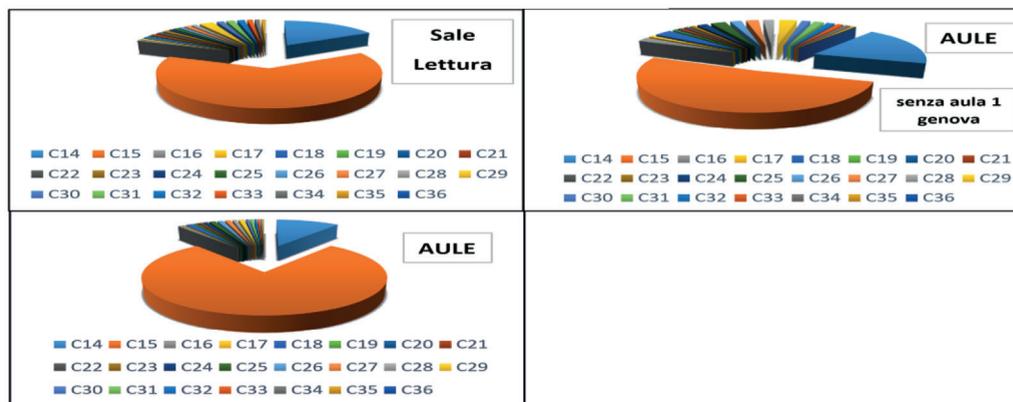


Fig. 2 – Media della percentuale dei singoli n-Alcani nella diversa tipologia dei siti

Pur considerando che la polvere di deposizione non è direttamente inalabile attraverso le vie respiratorie come le frazioni più fini, tuttavia negli ambienti interni una quantità importante (stimata tra 30-200 mg al giorno) raggiunge i polmoni attraverso la bocca, risultando capace di esplicitare i suoi effetti tossici. Al tal riguardo, si deve considerare che se le polveri aereo-disperse giornalmente inalate sono pari circa 1 mg, ma con un carico di tossicità superiore dovuto alla presenza di IPA più pesanti, il fatto che la popolazione di norma trascorre circa il 90% del tempo in ambienti chiusi, è presumibilmente che l'esposizione integrata sia superiore a quella stimata per i valori delle concentrazioni *outdoor* con un ruolo sempre più importante nella valutazione dei livelli di esposizione agli inquinanti organici. Altra riprova, le concentrazioni degli IPA nelle *Dust*, sia totali che dei singoli composti, sia la somma di quelli cancerogeni, secondo la direttiva per la Qualità dell'aria 2008/50/EC-DLgs 155/2010, sono minori all'esterno rispetto agli ambienti *indoor* in tutti i siti universitari in media nelle città. Nell'*indoor* il materiale raccolto era composto da polvere ultra fine, pulverulento molto leggero, in cui è più ricca la presenza di idrocarburi policiclici aromatici con la possibilità di arrivare nelle più profonde vie aeree. L'università più ricca di IPA risulta essere Genova mentre le meno inquinate sembrerebbero essere Bologna e Ancona. Non è stato possibile individuare una fonte unica preponderante nei nostri studi; tuttavia, i contributi agli IPA sembrano provenire dalla combustione di biomassa, dal traffico veicolare (diesel e benzina) e dall'impiego del gasolio per uso domestico, escludendo il riscaldamento, non essendo utilizzato durante il periodo di indagine. Si è dimostrato come lo studio delle polveri di deposizione sia molto importante e affidabile per avere informazioni sulla qualità dell'aria che ci circonda. Tale affermazione è confermata anche degli alcani e dai parametri analizzati in cui risulta non trascurabile la fonte antropogenica sia interna che esterna

Bibliografia

- [1] Al-Harbia M, Alhajric I., Whalen J.K. (2020) Health risks associated with the polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor dust collected from houses in Kuwait *Environmental Pollution* 266:115054
- [2] Nazmara S, Sorooshian A, Delikhoon M, Baghani AM, Ashournejad Q, Barkhordari A, Basmehchi

- N, Kasraee M, (2020) Characteristics and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons associated with dust in household evaporative coolers *Environmental Pollution* 256: 113379
- [3] M.R Mannino S. Orecchio (2008) Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in indoor dust matter of Palermo (Italy) area: Extraction, GC-MS analysis, distribution and sources *Atmospheric Environment* 42: 8: 1801-1817
- [4] Romagnoli P, Balducci C, Perilli M, Gherardi M., Gordiani A., Gariazzo C., Gatto M.P, Cecinato A, (2014). Indoor PAHs at schools, homes and offices in Rome, Italy. *Atmos. Environ*, 92: 51- 59
- [5] Cecinato A, Guerriero E, Balducci, C., Muto, V, (2014). Use of the PAH fingerprints for identifying pollution sources. *Urban Clim*, 10: 630-643.
- [6] Tobiszewski M., Namiesnik J., (2012) PAH diagnostic ratios for the identification of pollution emission sources. *Environmental Pollution* 162:110-169

Andamento stagionale del $PM_{2,5}$ e degli IPA in un appartamento ed effetti del lockdown da CoViD-19

Catia Balducci, balducci@iia.cnr.it, CNR-IIA, Monterotondo (RM)

Angelo Cecinato, angelo.cecinato@iia.cnr.it, Monterotondo (RM)

Paolo Ceci, Ceci.Paolo@mite.gov.it, CNR-IIA, c/o Ministero della Transizione Ecologica,
Roma

Paola Romagnoli, romagnoli@iia.cnr.it, Monterotondo (RM)

Mattia Perilli, mattia.perilli@iia.cnr.it, Monterotondo (RM)

Serena Santoro, serena.santoro@cnr.it, Monterotondo (RM)

Marina Cerasa, marina.cerasa@iia.cnr.it, Monterotondo (RM)

Riassunto

In questo studio vengono riportate le concentrazioni di $PM_{2,5}$ e IPA misurate in un appartamento abitato da fumatori nell'inverno del 2020 e durante la primavera dello stesso anno, cioè durante il lockdown da Covid 19. Inoltre le concentrazioni dei due inquinanti durante il lockdown sono state messe a confronto con quelle misurate nello stesso periodo dell'anno nel 2018. I risultati mostrano che durante il lockdown le concentrazioni di IPA e $PM_{2,5}$ erano maggiori all'interno rispetto che all'esterno e che in inverno le concentrazioni erano maggiori di quelle registrate in primavera. Allo stesso tempo, la maggiore presenza degli abitanti nella casa durante la primavera del 2020 ha incrementato in maniera notevole il livello di inquinanti all'interno della casa rispetto al 2018. Ciò conferma e amplifica la necessità di considerare i livelli di inquinamento a cui sono sottoposti i cittadini nelle loro case per una corretta valutazione della esposizione agli inquinanti.

Summary

This study reports the concentrations of $PM_{2,5}$ and PAH measured in an apartment inhabited by smokers in the winter of 2020 and during the spring of the same year, ie during the lockdown from Covid 19. Furthermore, the concentrations of the two pollutants during the lockdown were compared with those measured at the same time of the year in 2018. The results show that during the lockdown the concentrations of PAH and $PM_{2,5}$ were higher indoors than outdoors and that in winter the concentrations were higher than those recorded in the spring. At the same time, the greater presence of the inhabitants in the house during spring of 2020 has significantly increased the level of pollutants inside the home compared to 2018. This confirms and amplifies the need to consider the levels of pollution to which citizens are subjected in their homes for a correct assessment of exposure to pollutants.

1. Introduzione

Il periodo del lockdown è stato oggetto di molti studi mirati ad indagare l'impatto del blocco forzato di molte attività sulla qualità dell'aria. Per molti inquinanti i risultati hanno mostrato un impatto positivo di tali misure sulla qualità dell'ambiente esterno [1, 2]. Tuttavia, molto

meno si sa sugli effetti che il lockdown ha avuto sulla qualità dell'aria all'interno delle case dei cittadini, sia nel periodo del più duro lockdown che si è svolto tra il marzo e il maggio del 2020, sia nei successivi periodi di restrizione che sono intercorsi nel 2020. È noto che la qualità dell'aria *indoor* è uno dei maggiori fattori di rischio per la salute della popolazione [3]. Questo fattore di rischio ha sicuramente accresciuto il suo peso con l'avvento della pandemia, le varie restrizioni che si sono succedute e le variazioni delle abitudini dei cittadini, dovute soprattutto all'inserimento dello smart working, grazie al quale aumenta il tempo trascorso in casa e conseguentemente aumentano anche le emissioni dovute ad alcune attività, quali ad esempio la cottura dei cibi o il fumo del tabacco. In questo studio sono state analizzate le concentrazioni di $PM_{2.5}$ e di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), cioè due dei più importanti e pericolosi inquinanti regolamentati [4]. Il fine ultimo era indagare sui livelli di esposizione a questi inquinanti in un appartamento in cui la sorgente prevalente era il fumo di sigaretta. Ciò è stato fatto valutando gli effetti dei principali fattori che regolano le concentrazioni in *indoor*, cioè l'areazione degli ambienti, i livelli di concentrazione esterni e la presenza e le attività svolte dagli abitanti.

2. Relazione

Durante il 2020, due campagne di misura sono state effettuate all'interno di un appartamento di circa 60 m² posto al terzo piano di una palazzina costruita alla fine degli anni '50 e situata nell'area sud-est di Roma in una strada con scarso traffico veicolare. L'appartamento era abitato da 2 persone, di cui una fumatrice (in media 20 sigarette al giorno). In entrambe le campagne, al suo interno sono stati esaminati due locali, ovvero la camera da letto e un soggiorno con angolo cottura (sala AK). Durante il lockdown sono state misurate anche le concentrazioni esterne. La prima campagna si è svolta tra il 22 gennaio e il 13 febbraio del 2020, la seconda campagna invece è stata svolta tra il 22 marzo e il 3 maggio, cioè da circa 10 giorni dopo l'inizio del lockdown fino alla fine dello stesso. In questa campagna la raccolta dei campioni nella camera da letto è iniziata il 9 aprile. Durante il periodo invernale gli abitanti erano presenti prevalentemente nelle ore serali e durante i weekend. Date le basse temperature esterne, le finestre rimanevano tendenzialmente chiuse durante la giornata e il massimo della ventilazione avveniva durante le pulizie. Il riscaldamento era acceso giornalmente durante le prime ore della mattina e durante le ore serali. Durante il periodo del lockdown, ovviamente gli abitanti erano sempre presenti in casa, il riscaldamento era spesso acceso nel primo periodo del campionamento. A partire da metà aprile, l'aumento delle temperature esterne è corrisposto ad un maggiore arieggiamento degli ambienti, tramite apertura delle finestre. Una ulteriore campagna di misura era stata effettuata nell'appartamento nel 2018, tra il 30 marzo e il 6 maggio. In questo periodo, così come nel periodo invernale la presenza degli abitanti nella casa era ridotta a causa delle attività lavorative, mentre le finestre non venivano mai totalmente chiuse quando gli abitanti erano assenti.

2.1 Raccolta dei campioni ed analisi

Durante le campagne il $PM_{2.5}$ era raccolto giornalmente (tempo di campionamento 24 ore) su membrane in teflon, tramite dispositivi operanti a basso flusso (campionatori mod. Silent FAI, Palombara Sabina, flusso di aspirazione 10 L/min). La determinazione del $PM_{2.5}$ è stata effettuata per via gravimetrica. Per l'analisi degli IPA i campioni di particolato sono stati dapprima marcati con uno standard interno costituito da una miscela di IPA perdeuterati, utilizzati come riferimento per l'analisi quantitativa, e poi estratti in ultrasuoni con una miscela di diclorometano-acetone (4:1). L'estratto, dopo riduzione a piccolo volume, è stato purificato su una colonna di allumina per l'eliminazione delle sostanze interferenti. L'analisi strumentale è stata effettuata tramite gas cromatografia accoppiata alla spettrometria di massa in modalità

selected ion monitoring (*sim*). Per l'analisi degli IPA, da 2 a 6 filtri giornalieri sono stati uniti a costituire più gruppi per la copertura dell'intero periodo di misura.

2.2 Concentrazioni del $PM_{2.5}$

Le figure 1 A-B mostrano le concentrazioni di $PM_{2.5}$ all'interno e all'esterno della casa durante la campagna invernale (A) e quella svolta in concomitanza del lockdown (B). Durante la campagna invernale (periodo 22/1-13/2 2020) le concentrazioni di $PM_{2.5}$ all'esterno dell'appartamento erano nettamente minori rispetto a quelle interne ed erano pari in media a $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contro i 79 e $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ misurati rispettivamente nella sala AK e nella camera da letto. A tale proposito bisogna sottolineare che in assenza di misure di $PM_{2.5}$ all'esterno dell'appartamento, per il confronto sono state considerate le concentrazioni di $PM_{2.5}$ misurate nella centralina di ARPA Lazio più vicina che era quella di Cinecittà (circa 2 Km in linea d'aria). Nella sala AK, in cui si svolgevano la maggior parte delle attività e in cui si fumava, i livelli di $PM_{2.5}$ superavano in media del 15% quelli della camera da letto, dimostrando la capacità degli inquinanti di diffondere in tutte le parti della casa. L'andamento del $PM_{2.5}$ presentava 4 picchi di concentrazione nelle date 26 gennaio e 2, 9 e 11 febbraio. Nei giorni di picco sono state misurate concentrazioni di PM comprese tra i 107 e $215 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cioè ben maggiori del valore di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stabilito come media annua dal D.Lgs.155/2010 per l'aria ambiente. Tre dei quattro eventi di picco sono avvenuti di domenica cioè in presenza degli abitanti. Al contrario i punti di minimo di concentrazione si sono osservati durante i giorni in cui sono state svolte le maggiori attività di pulizia e quindi la casa era più arieggiata.

Relativamente alla campagna svoltasi in concomitanza del lockdown, i valori di concentrazione di $PM_{2.5}$ all'interno della casa nella prima fase della campagna non sono stati determinati per problemi tecnici. I dati a disposizione hanno confermato, seppur in maniera meno marcata, la prevalenza delle concentrazioni indoor di $PM_{2.5}$ rispetto a quelle misurate all'esterno. In questo caso, le concentrazioni esterne sul periodo 22 marzo-3 maggio erano pari a $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mentre, nei periodi in cui le concentrazioni interne erano disponibili, tra il 1 e il 9 aprile le concentrazioni esterne erano pari a $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ verso i $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella sala AK, mentre nel periodo 9 aprile-3 maggio il $PM_{2.5}$ era pari a $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ outdoor e pari a circa $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nei due ambienti indoor. Dati i valori di $PM_{2.5}$ disponibili per l'indoor, il valore massimo di concentrazione ($\approx 110 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si è avuto nei giorni 2-3 aprile cioè in corrispondenza di un abbassamento della temperatura esterna ($T_{\text{min}} \approx 5 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{max}} \approx 12 \text{ }^\circ\text{C}$). A partire da quella data si è avuta una tendenza alla diminuzione della concentrazione interna del $PM_{2.5}$ che è corrisposta ad un tendenziale aumento delle temperature medie all'esterno (soprattutto quelle minime) e quindi ad una maggiore tendenza ad aprire le finestre.

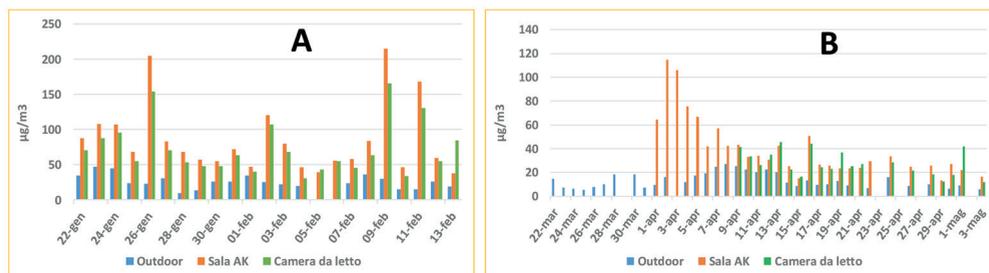


Fig. 1 – Concentrazioni di $PM_{2.5}$ misurate nell'appartamento nel periodo gennaio-febbraio (A) e marzo-maggio (B). I dati outdoor della campagna invernale sono relativi alla centralina ARPA di Cinecittà

2.3 Concentrazioni di IPA

Nella campagna del periodo gennaio-febbraio gli IPA totali all'interno dell'appartamento erano pari a $6.76 \pm 2.27 \text{ ng/m}^3$ nella camera da letto e $8.83 \pm 2.85 \text{ ng/m}^3$ nella sala AK. Le concentrazioni dei singoli composti erano sempre maggiori nella sala AK con un rapporto medio sala AK/letto pari a 1.2 ± 0.3 . Il composto presente a livelli più alti era il benzo(b/j)fluorantene ma la concentrazione media del cancerogeno benzo(a)pirene nella sala AK era in media pari a 1.08 ng/m^3 e superava il valore target di 1 ng/m^3 stabilito per l'aria esterna come media annua (Direttiva 2004/107/CE). La figura 2 illustra le concentrazioni medie degli IPA nella campagna invernale, mentre quelle della campagna svolta nel periodo marzo-maggio sono riportate in figura 3.

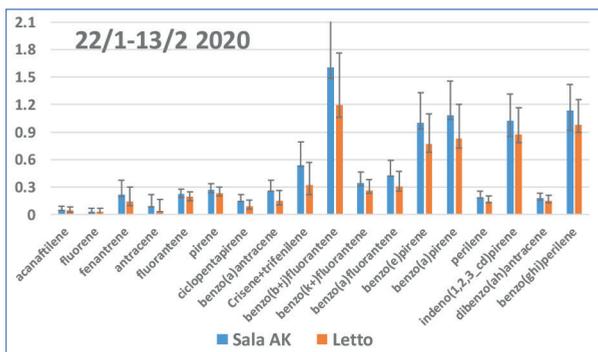


Fig. 2 – Concentrazioni medie di IPA misurate nell'appartamento nel periodo gennaio-febbraio. Valori espressi in ng/m^3

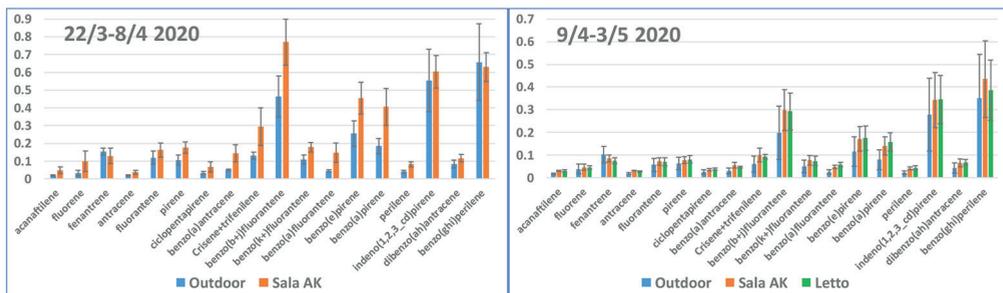


Fig. 3 – Concentrazioni medie di IPA misurate nell'appartamento nel periodo marzo-maggio. Valori espressi in ng/m^3

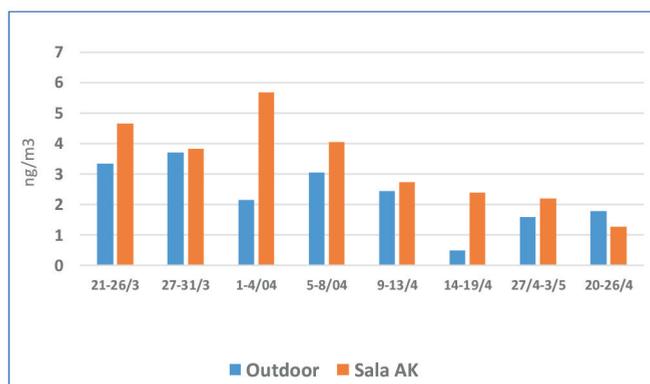


Fig. 4 – Concentrazioni di IPA totali misurate all'interno e all'esterno dell'appartamento durante il lockdown

Ad oggi non sono stati pubblicati dati sulle concentrazioni di IPA durante il lockdown in Italia, ma in generale è noto che durante questo periodo nell'aria di Roma si è assistita ad una progressiva ma non repentina diminuzione del PM [5]. Nonostante l'assenza del contributo del traffico, questo processo in una prima fase è stato ostacolato, oltre che dalla meteorologia che non ha favorito la dispersione, anche presumibilmente dal contributo della combustione di biomassa proveniente dalle aree circostanti al centro urbano e dal riscaldamento domestico all'interno della città. In una seconda fase fenomeni di pioggia seguiti da un graduale aumento della temperatura hanno portato ad un fenomeno di sink del PM seguito da una diminuzione del contributo delle sorgenti e da un generale aumento dei fenomeni di dispersione. I dati riportati in figura 4 (andamento degli IPA totali durante la campagna del lockdown) sembrano dimostrare che l'area outdoor in esame è stata sottoposta alle stesse dinamiche e che la diminuzione del $PM_{2.5}$, carrier degli IPA, abbia portato anche ad una generale diminuzione di concentrazione della classe. Allo stesso modo all'interno dell'appartamento, nel corso della campagna, la diminuzione delle concentrazioni esterne, unita ad una maggiore areazione dei locali dovuta all'aumento delle temperature, ha contribuito alla riduzione degli IPA.

Il confronto tra le concentrazioni interne ed esterne ha evidenziato delle leggere differenze tra la prima e la seconda parte della campagna di misura. Nella prima parte i rapporti IN/OUT hanno un valore medio per tutta la classe pari a 1.9 ± 0.69 , nel secondo periodo le differenze diminuiscono e la media dei rapporti IN/OUT diventa uguale 1.49 ± 0.32 . Considerando le singole specie è interessante osservare che, sia nella prima che nella seconda fase della campagna, tra i più alti rapporti IN/OUT per gli IPA con più di 3 anelli ci sono quelli associati alle specie più degradabili come ad esempio i cancerogeni benzo(a)antracene, benzo(a)pirene e anche il benzo(a)fluorantene e il perilene. Ciò è dovuto alla maggiore stabilità di questi composti all'interno a causa della minore incidenza della radiazione solare che induce i processi di degradazione [6]. I composti con le concentrazioni più elevate erano nel periodo 21 marzo- 8 aprile il benzo(bj)fluorantene all'interno e il benzo(ghi)perilene all'esterno, mentre nel periodo 9 aprile-3 maggio, sia *indoor* che *outdoor* il benzo(ghi)perilene era il più alto. Ciò fa pensare che le sorgenti interne nella casa pesassero prevalentemente sul benzo(bj)fluorantene, mentre anche alla fine del lockdown, il contributo del traffico proveniente dall'esterno, e indicato dal benzo(ghi)perilene, continuava ad essere rilevante sul profilo degli IPA sia in outdoor che in indoor.

2.4 Confronto tra i valori di IPA e $PM_{2.5}$ misurati nell'appartamento durante il lockdown e nell'analogo periodo dell'anno nel 2018

Sulla base della analogia in termini stagionali della campagna svolta nell'appartamento nel 2018 e nel 2020 si è potuto utilizzare il sito indagato come caso studio indicativo delle variazioni in termini di esposizione agli inquinanti, subite dalla popolazione in ambiente indoor durante il lockdown.

La tabella 1 riporta alcuni parametri metereologici relativi ai periodi delle campagne del 2020 e del 2018, mentre la tabella 2 riporta i valori medi di $PM_{2.5}$ nelle postazioni monitorate, più quelle della stazione di monitoraggio di Cinecittà usata come riferimento per i due periodi, data la mancanza di dati outdoor per l'appartamento nel 2018.

| periodo | T med °C | T min °C | T max °C | Umidità % | Vento Med km/h | Giorni Pioggia |
|---------------|----------|----------|----------|-----------|----------------|----------------|
| 21/3-3/5 2020 | 15 | 9 | 19 | 64 | 10,1 * | 13 |
| 30/3-6/5 2018 | 17 | 12 | 21 | 67 | 9,7* | 15 |

Tab. 1 – Parametri metereologici relativi ai periodi delle campagne del 2020 e del 2018. * valori medi mese di aprile

| periodo | $PM_{2.5}$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | | | |
|---------------|-------------------------------------|---------|-------|---------|
| | Cinecittà | Outdoor | Letto | Sala AK |
| 21/3-3/5 2020 | 12 | 14 | 28** | 40** |
| 30/3-6/5 2018 | 16 | nd | 10 | 10 |

Tab. 2 – Concentrazioni di $PM_{2.5}$ registrate nelle postazioni indagate e nella stazione di monitoraggio di Cinecittà. ** Dati incompleti. Vedi figura 1B

Relativamente al $PM_{2.5}$ misurato in questa stazione, non si sono evidenziate sostanziale differenze tra il 2018 e il 2020. A sua volta il $PM_{2.5}$ misurato all'esterno della casa nel 2020 non discostava molto da quello misurato nella stazione di monitoraggio di Cinecittà nello stesso periodo. Ciò permette di ipotizzare similitudini tra le concentrazioni di $PM_{2.5}$ nei 2 siti anche nel 2018. Di contro le concentrazioni di $PM_{2.5}$ misurate all'interno mostravano sostanziali differenze tra il 2018 e il 2020. Mentre nel 2018 i valori di $PM_{2.5}$ all'interno erano minori di quelle misurate all'esterno nel sito di Cinecittà, nel 2020 si sono registrate concentrazioni interne molto maggiori rispetto all'esterno. Ciò soprattutto nel primo periodo del campionamento. Ciò è sicuramente dovuto all'aumento dell'intensità delle sorgenti interne dovute alla maggiore permanenza degli abitanti e anche alle minori temperature del 2020 che non hanno favorito la tendenza ad arieggiare i locali in questo periodo.

Per quanto riguarda gli IPA, considerando la somma dei 7 IPA cancerogeni menzionati dalla Direttiva 2004/107/CE si è passati per la sala AK da un valore medio uguale a $0.39 \pm 0.15 \text{ ng}/\text{m}^3$ misurato nel 2018 ad un valore medio uguale a $1.42 \pm 0.64 \text{ ng}/\text{m}^3$ nel 2020, cioè un valore più che triplicato, mentre per il benzo(a)pirene l'incremento è stato ancora maggiore ($0.042 \pm 0.022 \text{ ng}/\text{m}^3$ nel 2018 e $0.27 \pm 0.16 \text{ ng}/\text{m}^3$ nel 2020).

3. Conclusioni

La campagna di misura svolta nell'appartamento durante il lockdown rappresenta un caso studio pressoché unico riguardo le informazioni fornite sui livelli di esposizione della popolazione durante il periodo di chiusura e sugli effetti di questo sulla qualità dell'aria *indoor*. In particolare il confronto dei risultati con i dati della campagna svolta nella primavera del 2018

ha messo in evidenza un aumento dei livelli di esposizione sia al $PM_{2.5}$ sia agli IPA cancerogeni durante il lockdown. Questo incremento era più marcato alla fine di marzo e scendeva gradualmente fino a raggiungere il minimo alla fine del lockdown. La campagna di misura svolta nel gennaio 2020 ha mostrato come, anche all'interno, nel periodo invernale le concentrazioni degli inquinanti considerati aumentano se confrontate con quelle della primavera. Lo studio dei due ambienti dell'appartamento ha mostrato livelli di concentrazioni non sostanzialmente diversi tra la sala AK e la camera da letto confermando che gli inquinanti sono in grado di diffondere facilmente all'interno della casa, spostandosi dai locali in cui vengono emessi a quelli circostanti. Considerando i rapporti IN/OUT, i dati hanno mostrato valori dei rapporti maggiori per quei composti che mostrano maggiore reattività fotochimica, come il tossico benzo(a)pirene, ciò a causa della maggiore stabilità di questi composti all'interno.

Bibliografia

- [1] **Venter Z.S., Aunan K., Chowdhury S., Lelieveld J.**, “COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines”. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 2020, 117, 18984–18990.
- [2] **Gualtieri G., Brilli L., Carotenuto F., Vagnoli C., Zaldei A., Gioli B.**, “Quantifying road traffic impact on air quality in urban areas: A Covid19-induced lockdown analysis in Italy.” *Environ. Pollut.* 2020, 267.
- [3] **Van Tran V., Park D., Lee Y.C.**, “Indoor air pollution, related human diseases, and recent trends in the control and improvement of indoor air quality.” *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17.
- [4] **Li F., Gu J., Xin J., Schnelle-Kreis J., Wang Y., Liu Z., Shen R., Michalke B., Abbaszade G., Zimmermann R.**, “Characteristics of chemical profile, sources and PAH toxicity of $PM_{2.5}$ in Beijing in autumn-winter transit season with regard to domestic heating, pollution control measures and meteorology.” *Chemosphere* 2021, 276, 130143.
- [5] **Massimi L., Pietrodangelo A., Frezzini M.A., Ristorini M., De Francesco N., Sargolini T., Amoruso, A., Di Giosa A., Canepari S., Perrino C.**, “ Effects of COVID-19 lockdown on PM_{10} composition and sources in the Rome Area (Italy) by elements’ chemical fractionation-based source apportionment.” *Atmos. Res.* 2022, 266, 105970, doi:10.1016/j.atmosres.2021.105970.
- [6] **Balducci C., Cecinato A., Paolini V., Guerriero E., Perilli M., Romagnoli P., Tortorella C., Iacobellis S., Giove A., Febo A.**, “ Volatilization and oxidative artifacts of PM bound PAHs collected at low volume sampling (1): Laboratory and field evaluation”. *Chemosphere* 2018, 200.

Qualità dell'aria *indoor* negli ambienti scolastici: progetto SIAQ (School Indoor Air Quality)

Claudio Bosio claudio.bosio@icloud.com; *Daniele Modonese* daniele.modonese@scuola.alto-adige.it *; *Valter Pellizzari*; *; *Elisa Cecere*, *Del Din*, *Gabriel Faustin*, *Mattia Franzoi*, *Ludovica Frascchetta*, *Devid Frasnelli*, *Syria Giacomini*, *Sirio Giovannini*, *Francesco Lazzarotto*, *Camilla Lazzeri*, *Daniele Manca*, *Martina Mazzarelli*, *Timoteo Tomio*, *Davide Volcan*, *Paolo Burzacca*,
Istituto Tecnico Tecnologico Galileo Galilei, Bolzano;

Massimo Donegà m.donega@eco-research.it; *Werner Tirlir* W.tirlir@eco-research.it,
Eco-Research, Bolzano

Enrico Vucemillo vcmmrbc22@prov.bz

I.T.C.A.T. A. e P. Delai, Bolzano

Giovanni Pernigotto giovanni.pernigotto@unibz.it.

Libera Università di Bolzano

*, **, ***
, , ***,

Riassunto

Il progetto (portato avanti dagli studenti) è caratterizzato da un approccio didattico e metodologico su un caso reale di studio riguardante la qualità dell'aria indoor negli ambienti scolastici. Il lavoro si è articolato nelle seguenti fasi:

- *Raccolta dati (vengono raccolti i dati sull'aula da monitorare);*
- *Analisi (le analisi chimico/fisiche sono fondamentali all'attività di monitoraggio);*
- *Valutazione (la raccolta e l'elaborazione di tutti i dati e la loro interpretazione costituiscono il momento centrale del progetto);*
- *Conclusioni (il processo di monitoraggio e valutazione viene condiviso e discusso con gli studenti e i docenti).*

Summary

The project is characterized by a didactic and methodological approach to a real case study concerning the quality of air in school environments. The work was divided into the following phases:

- *Data collection (data on the classroom to be monitored are collected);*
- *Analysis (chemical/physical analyses are essential to the monitoring activity);*
- *Evaluation (the collection and processing of all data and their interpretation constitute the central moment of the project);*
- *Conclusions (the monitoring and evaluation process is shared and discussed with students and teachers).*

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/m²). 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 5C dell’ITT e 4A dell’ITCAT, in collaborazione con i seguenti esperti di enti esterni:

- dott. Werner Tirlir 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-GdS Inquinamento *Indoor*);
- ing. Giovanni Pernigotto - Libera Università di Bolzano (ricercatore nel campo della Fisica Tecnica Ambientale);
- ing. Clara Peretti e p.i. Gianmaria Fulci - Agenzia Provinciale Per l’Ambiente e la tutela del clima di Bolzano;
- ing. Fabrizio Salinaro - Berry Global (Product Manager – Filtration, EMEIA, azienda produttrice mondiale di non tessuti per la filtrazione dell’aria).

Per la raccolta dei dati sono stati individuati i locali idonei per utenza (aule e palestra), ampiezza e utilizzo come campione rappresentativo dove è stata installata la strumentazione nel periodo novembre 2021 - marzo 2022. Gli studenti hanno potuto così approfondire lo studio di una matrice reale, applicando le corrette tecniche di campionamento e seguendo tutta la sequenza delle fasi del processo analitico.

I parametri monitorati sono: CO₂, TVOC, aldeidi, PM₁₀, PM_{2,5}, temperatura T (°C), umidità relativa UR (%) e le aldeidi mediante l’utilizzo di:

- strumento Befreest P+ per la misura in ambienti indoor di CO₂, T, UR, TVOC, PM₁₀ e PM_{2,5};
- 2 strumenti per la filtrazione e purificazione dell’aria Philips Vita Shields IPS;
- fiale Radiello® per la misura delle Aldeidi mediante HPLC-UV.

Di seguito verranno presentati i dati di CO₂, TVOC e aldeidi raccolti in aula con andamento settimanale e giornaliero.

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.

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 e 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 di filtrazione dell'aria di ricircolo, materiali traspiranti, sensori di rilevamento dinamico e gestione domotica [2-4];
- sviluppare eventuali competenze progettuali per soluzioni tecniche e domotiche all'avanguardia.

Le misure di concentrazione interna di CO₂ sono state successivamente utilizzate per la valutazione della classe della qualità dell'aria (IAQ) [3] secondo la normativa UNI EN 16798-1:2019. Il calcolo è stato effettuato valutando la differenza di concentrazione tra l'ambiente esterno e quello interno assumendo una concentrazione esterna di 400 ppm (Tab. 1).

| Categoria | Concentrazioni di CO ₂ [ppm] |
|-----------|---|
| ■ I | < 950 |
| ■ II | 950 < x < 1200 |
| ■ III | 1200 < x < 1750 |
| ■ IV | > 1750 |

Tab. 1 – Limiti di Concentrazione di CO₂ per ciascuna classe di qualità dell'aria IAQ secondo UNI EN 16798-1:2019, assumendo una concentrazione media esterna di 400 ppm

2.1 Risultati

Si riporta di seguito alcuni risultati del monitoraggio effettuato in due scuole diverse.

La **Fig. 1** riguarda l'andamento di CO₂ e TVOC durante una giornata tipo in un'aula di 50 m² con 15 studenti. Si nota come all'aumentare della CO₂ segua un aumento dei TVOC.

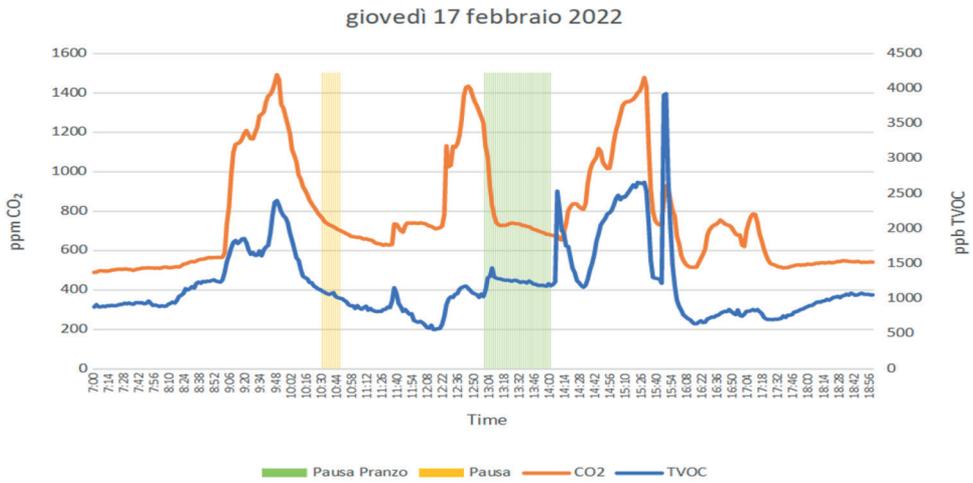


Fig. 1 Esempio di trend giornaliero in un'aula della SCUOLA-1

Dalla **Fig. 2** si evince come la misura della CO₂, durante una settimana, sia spesso superiore ai 1750 ppm.

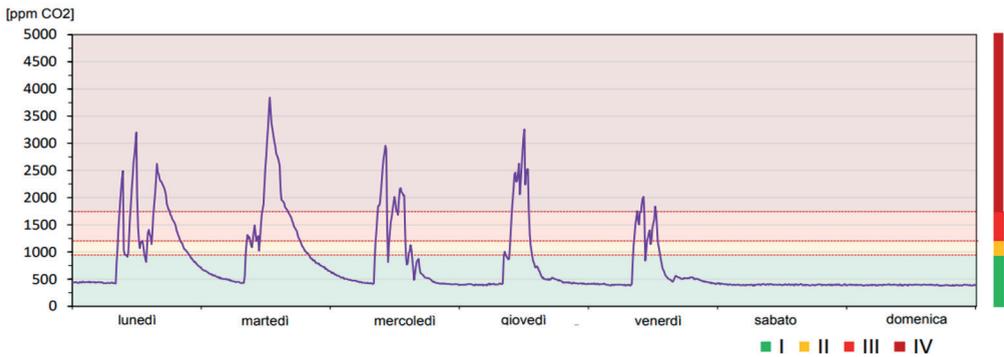


Fig. 2 – Esempio di trend settimanale in un'aula della SCUOLA-2

La concentrazione di CO₂ cambia molto se si considera il periodo in cui il riscaldamento è acceso (dal 15 novembre al 15 aprile) con quello in cui è spento (dal 16 aprile al 14 novembre) e questo influenza notevolmente la qualità dell'aria (Fig. 3).

Distribuzione delle categorie IAQ (in base alla concentrazione di CO₂)

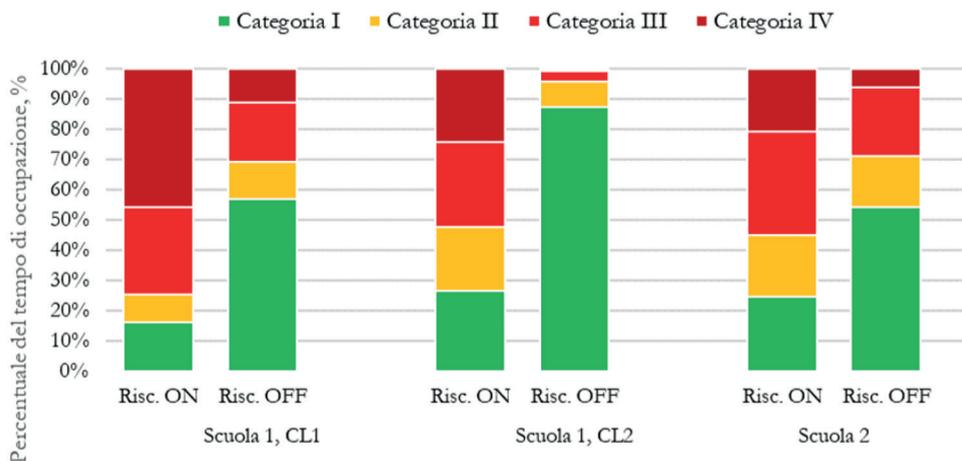


Fig. 3 – Confronto tra le distribuzioni delle categorie IAQ in relazione al periodo di considerato (Riscaldamento ON/OFF) per diverse scuole e aule [3].

2.1.1 Risultati complessivi: perdita prestazionale nell'apprendimento legate alla IAQ (in base alla concentrazione di CO₂)

Si riporta in Fig. 4 un esempio delle perdite prestazionali nell'apprendimento dovute a condizioni di IAQ non ottimali, valutate secondo modelli da letteratura [3].

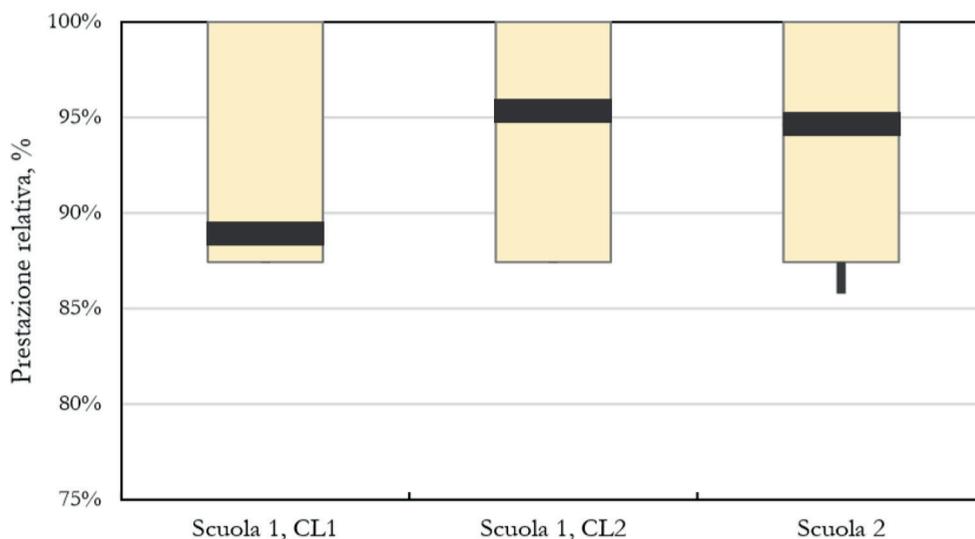


Fig. 4 – Perdita prestazionale media tra il 5% e l'11% dovuta a condizioni IAQ non ottimali, distinta per classe e all'istituto preso in considerazione [3].

2.1.2 Risultati complessivi: categorie di comfort termo-igrometrico

Come evidenziato in Fig. 5, le condizioni di comfort termo-igrometrico durante il periodo di occupazione possono essere molto diverse in base sia al periodo sia all'istituto e all'ambiente

considerato. In generale, è possibile notare come nei mesi tardo primaverili si registrino spesso temperature elevate che comportano discomfort per gli studenti e gli insegnanti.

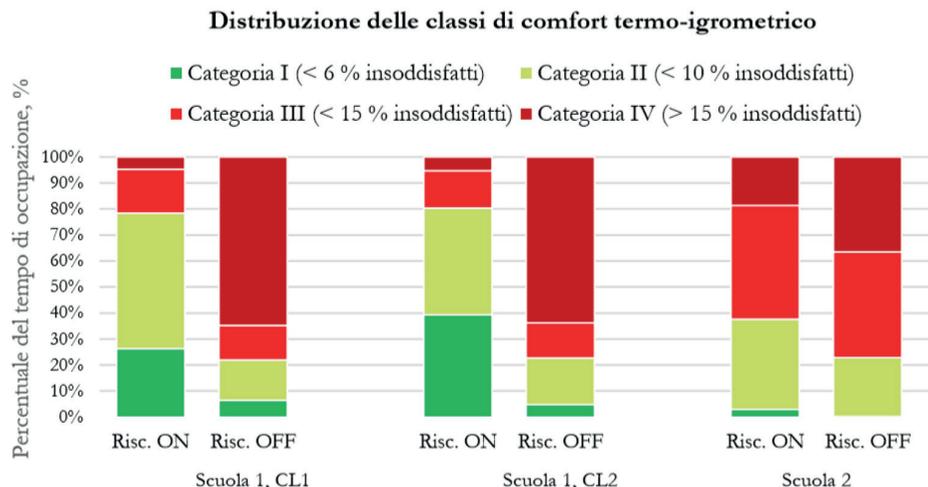


Fig. 5 – Confronto tra le distribuzioni delle categorie di comfort termo-igrometrico in relazione al periodo di considerato (Riscaldamento ON/OFF) per diverse scuole e aule [3].

2.1.3 Risultati complessivi: perdita prestazionale nell'apprendimento legate al discomfort termico
 Analogamente a quanto visto per quanto concerne l'impatto della IAQ, Fig. 5 riporta un'analisi sull'incidenza delle condizioni di discomfort termico sulle prestazioni dell'apprendimento [3].

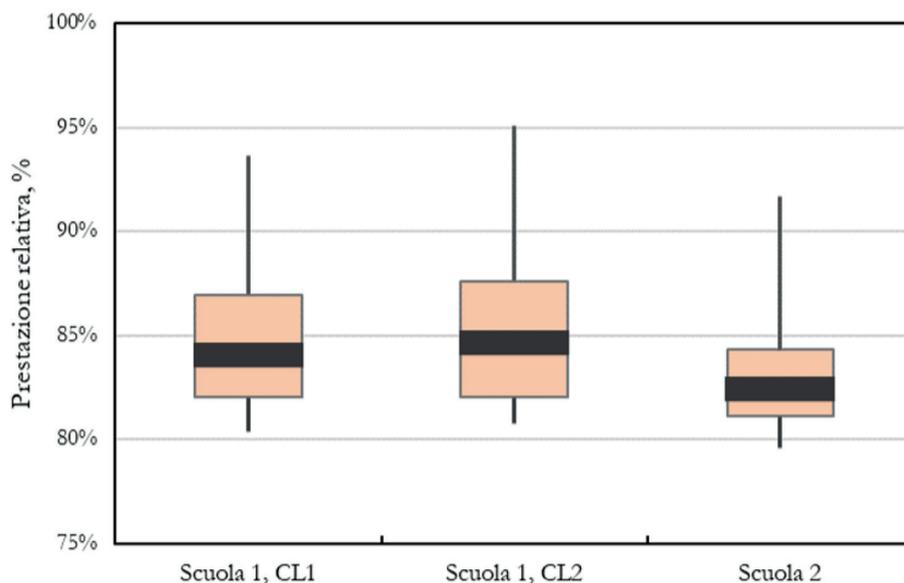


Fig. 6 – Perdita prestazionale media tra il 15 % e il 17 % dovuta a condizioni di discomfort termico, distinta per classe e all'istituto preso in considerazione [3].

2.1.4 Risultati analisi aldeidi

| Classe | Periodo campionamento settimana scolastica | N fila settimana scolastica (lun - ven) | Formaldeide $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Acetaldeide $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Acroleina $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Propanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Butanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Benzaldeide $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Isoptanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Pentanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Esanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|--------------|--|---|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| B317 | 14/03-18/03 | 1 | 6,57 | 9,31 | 27,50 | 0,43 | 17,24 | 1,63 | 0,16 | 0,20 | 0,37 |
| A307 | 14/03-18/03 | 2 | 3,23 | 8,01 | 20,19 | 0,27 | 9,49 | 1,41 | 0,16 | 0,09 | 0,18 |
| D202 (nuova) | 14/03-18/03 | 3 | 8,20 | 11,66 | 69,70 | 0,48 | 30,78 | 20,43 | 0,12 | 0,17 | 0,46 |
| Palestra | 14/03-18/03 | 4 | 0,54 | 2,78 | 16,74 | 0,17 | 7,34 | 0,09 | 0,05 | 0,03 | 0,04 |
| Classe | Periodo bianco | N fila fine settimana (ven - lun) | Formaldeide $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Acetaldeide $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Acroleina $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Propanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Butanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Benzaldeide $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Isoptanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Pentanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Esanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| B317 | 19/03-20/03 | 1.1 | 2,47 | 6,04 | 21,54 | 0,00 | 8,61 | 1,39 | 0,07 | 0,12 | 0,13 |
| A307 | 19/03-20/03 | 2.1 | 0,00 | 3,21 | 16,52 | 0,00 | 7,90 | 0,14 | 0,07 | 0,09 | 0,04 |
| D202 (nuova) | 19/03-20/03 | 3.1 | 6,46 | 10,16 | 56,07 | 0,27 | 24,70 | 22,27 | 0,31 | 0,40 | 0,36 |
| Palestra | 19/03-20/03 | 4.1 | 0,00 | 1,97 | 19,48 | 0,00 | 6,61 | 0,00 | 0,06 | 0,09 | 0,02 |
| Classe | Periodo campionamento settimana completa | N fila settimana scolastica (lun - dom) | Formaldeide $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Acetaldeide $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Acroleina $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Propanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Butanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Benzaldeide $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Isoptanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Pentanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Esanale $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| B317 | 21/03-27/03 | 1.2 | 1,68 | 4,14 | 19,43 | 0,00 | 7,72 | 0,16 | 0,04 | 0,05 | 0,08 |
| A307 | 21/03-27/03 | 2.2 | 1,81 | 3,18 | 16,66 | 0,00 | 6,15 | 0,17 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| D202 (nuova) | 21/03-27/03 | 3.2 | 2,87 | 4,80 | 26,20 | 0,11 | 9,25 | 6,82 | 0,06 | 0,10 | 0,24 |
| Palestra | 21/03-27/03 | 4.2 | 0,03 | 1,71 | 13,09 | 0,00 | 4,90 | 0,00 | 0,04 | 0,08 | 0,04 |

Tab. 2 – Risultati analisi aldeidi

In particolare (Tab. 2), l'andamento di Formaldeide e Benzaldeide raccolte in aula vecchia ala dell'istituto (A307), aula nuova allestita da poche settimane (D202) e palestra, ha confermato che i valori più alti si riscontrano con i nuovi arredi (Formaldeide: A307=3,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – D202=8,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – Palestra=0,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Benzaldeide A307=9,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – D202=30,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – Palestra=7,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

3. 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. 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.

LA VALUTAZIONE DI IMPATTO SANITARIO (VIS): LA COLLABORAZIONE TRA LE ISTITUZIONI NAZIONALI E LE REGIONI NELL'APPROFONDIMENTO DELLE LINEE GUIDA ISS

Il seminario vuole descrivere il proficuo lavoro di collaborazione tra le istituzioni centrali e regionali ai fini dell'approfondimento delle linee guida sulla VIS, redatte dall'Istituto Superiore di Sanità. Attualmente le LG sono oggetto di un progetto CCM finanziato dal Ministero della Salute a cui partecipano gli enti territoriali dell'Emilia Romagna, Marche, Sardegna e Friuli Venezia Giulia. Questa collaborazione consente di analizzare efficacemente le metodologie e gli approcci per gli studi VIS tenendo conto delle esigenze che si incontrano ai diversi livelli istituzionali e nei diversi contesti territoriali, stimolando la ricerca di un approccio omogeneo e coerente sul territorio italiano.

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

Presidenti di sessione:

Maria Eleonora Soggiu, Istituto Superiore di Sanità

Gianluigi de Gennaro, Università di Bari

Metodi e approcci per la gestione e tutela dei servizi ecosistemici dei suoli nei cantieri

*Andrea Monti a.monti@arpalombardia.it, Elena Ballabio e.ballabio@arpalombardia.it, Elena Castelli e.castelli@arpalombardia.it, Erika De Finis e.definis@arpalombardia.it, Alessia Mariotto a.mariotto@arpalombardia.it, Elisa Nava e.nava@arpalombardia.it, Valeria [Spirolazzi](mailto:v.spirolazzi@arpalombardia.it)
v.spirolazzi@arpalombardia.it
ARPA Lombardia, Milano*

Riassunto

La realizzazione di infrastrutture lineari e opere strategiche comporta impatti significativi sul suolo presso le aree occupate temporaneamente dai cantieri. Tali problematiche devono essere affrontate nei tempi e nelle modalità più adeguate al fine di evitare la perdita permanente dei servizi ecosistemici forniti dal suolo. Da oltre 10 anni ARPA Lombardia affianca il monitoraggio ambientale della realizzazione di grandi opere, maturando quindi un'ampia esperienza in merito agli impatti che ne derivano. ARPA Lombardia ha quindi sviluppato due linee guida finalizzate alla mitigazione degli impatti sul suolo e al contenimento delle specie vegetali aliene. All'interno di tali documenti vengono indicate buone pratiche di cantiere e modalità operative di monitoraggio ambientale.

Summary

The construction of linear infrastructures and strategic works entails significant impacts on the soil temporarily occupied by construction sites. These issues must be addressed in the most appropriate way to avoid the permanent loss of the ecosystem services provided by the soil. For over 10 years ARPA Lombardia has been involved in environmental monitoring of major project, thus gaining extensive experience about the resulting impacts. ARPA Lombardia has therefore developed two guidelines aimed at mitigating impacts on the soil and containing alien plant species. These documents indicate good construction site practices and operational methods of environmental monitoring.

1. Introduzione

Il suolo è un elemento naturale tridimensionale che prevede una componente abiotica ed una biotica, la cui formazione è un processo lento, tanto da poterlo considerare una risorsa non rinnovabile [1], condizionato da diversi fattori di cui i principali sono 5: la roccia madre, la geomorfologia, il clima, la componente biologica, il tempo [2]. A seguito delle relazioni che si sviluppano con le altre matrici ambientali, il suolo ricopre una moltitudine di servizi ecosistemici, sia a scala locale che globale [3][4]. Anche dal punto di vista economico viene stimato che il consumo di suolo, definitivo e temporaneo, o il suo degrado producono a livello nazionale perdite annuali dell'ordine di diversi miliardi di Euro [5].

Data la complessità della matrice suolo e la sua rilevanza ambientale e socio-economica, in tutte le opere è necessario porre attenzione al suolo, non solo quello consumato dall'impronta

dell'opera, ma anche laddove ne è prevista un'occupazione temporanea e il suo successivo ripristino. Qualora il suolo costituisca la base di appoggio di cantieri temporanei e quando interessato da scotico della porzione più superficiale, con conseguente gestione di volumetrie considerevoli, è possibile che si verifichino criticità pedologiche.

Inoltre, nei cantieri che prevedono significative movimentazioni di terreno, la presenza di suoli privi di copertura vegetale, o con copertura vegetale fortemente degradata, rende necessario contrastare l'insediamento e la diffusione di specie vegetali alloctone invasive.

In tale prospettiva ARPA Lombardia ha maturato un'ampia esperienza ed elaborato soluzioni tecniche operative per il contenimento degli impatti grazie ad un periodo di affiancamento al monitoraggio ambientale della realizzazione di grandi opere, in un contesto particolarmente complesso di variabilità pedologica, che vede l'alternarsi di 5 sistemi di pedopaesaggio e 13 gruppi pedologici cartografabili [6] sui 32 previsti a scala globale dalla tassonomia WRB [7].

2. Relazione

2.1 Contestualizzazione del monitoraggio pedologico di cantieri temporanei

Ai gruppi pedologici più diffusi e rappresentati si aggiunge un'ulteriore tipologia di suoli, quelli fortemente disturbati dall'attività dell'uomo e riconosciuti dalla tassonomia WRB come suoli tecnici (technosols). I suoli ripristinati, se non opportunamente trattati, rischiano di perdere le proprietà originarie e di rientrare nella sfera dei suoli tecnici.

Tale considerazione comporta che il suolo interessato temporaneamente dalla cantierizzazione di un'opera necessiti di opportuni accorgimenti quali:

- limitare il più possibile l'estensione delle superfici cantierizzate;
- gestire accuratamente il topsoil (porzione di suolo scotico) e il subsoil;
- eseguire un idoneo ripristino pedologico;
- ridurre il rischio di diffusione di specie esotiche invasive.

2.2 Impatti osservati sulla matrice suolo

Il monitoraggio della matrice suolo delle aree di cantiere è impostato sul confronto tra le condizioni pedologiche precedenti all'installazione del cantiere temporaneo (Ante Operam - AO) e quelle successive allo smantellamento dello stesso e al ripristino pedologico dell'area (Post Operam - PO).

Le lavorazioni maggiormente impattanti per la componente suolo sono: asportazione della porzione superficiale del suolo (scotico del topsoil) che coinvolge generalmente uno spessore di 0,5 metri circa; accontamento dello stesso in dune che frequentemente raggiungono i 4 – 5 metri di altezza; realizzazione di eventuali sottoservizi; predisposizione della superficie di base del cantiere al di sopra del subsoil, con stesa di ghiaia e/o altro materiale; eventuale impermeabilizzazione con cemento o asfalto; allestimento delle strutture di cantiere (container, impianti produttivi, aree di deposito mezzi e materiali...); smantellamento dell'area di cantiere a conclusione della realizzazione dell'opera; ripristino pedologico, utilizzando generalmente lo scotico superficiale accantonato nelle dune.

Dalle attività di monitoraggio che ARPA Lombardia ha seguito, sono emerse differenti criticità e anomalie, presso opere che hanno coinvolto diverse aree di cantiere temporanee (nominate nei grafici A, B, C...) tra le quali:

- Aumento in PO rispetto all'AO delle frazioni granulometriche più grossolane, attribuibili a una scorretta gestione delle dune di scotico (es.: contatto delle stesse con depositi grossolani) e/o a un ripristino inadeguato (Fig. 1).

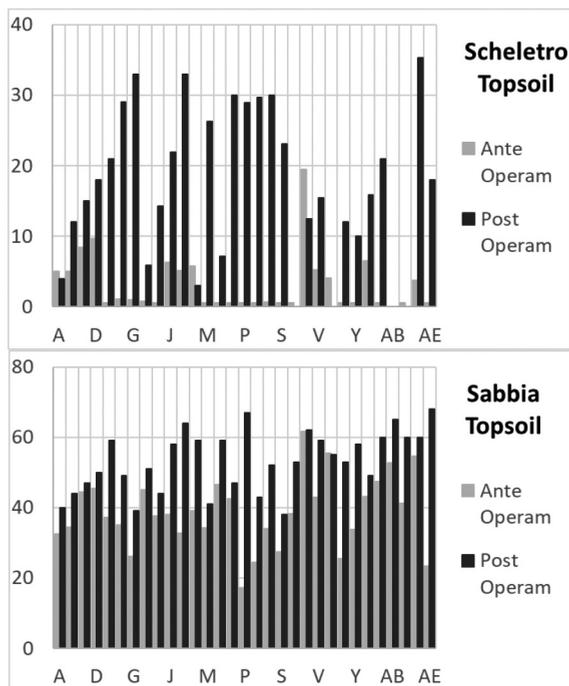


Fig. 1 – Confronto AO - PO di frazioni granulometriche nel topsoil (%)

- Decremento netto della % di Carbonio Organico e Azoto Totale in PO rispetto all'AO, con conseguente perdita di fertilità (Fig. 2).

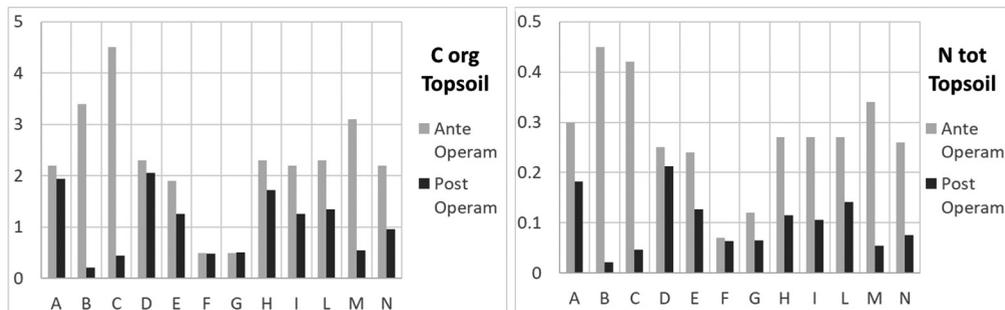


Fig. 2 – Confronto AO - PO di parametri pedologici nel topsoil

- Presenza di materiale cantieristico in PO sia in superficie (Fig. 3, a sinistra) che interrato (Fig. 3, a destra), attribuibili principalmente a una gestione non corretta dei rifiuti e della fase di smantellamento del cantiere.



Fig. 3 – Presenza in PO di materiale cantieristico

- Aumento in PO rispetto all'AO di carbonati e di calcare attivo con il conseguente aumento in pH, attribuibili a una scorretta gestione delle dune di scotico e/o a un ripristino inadeguato (Fig. 4).

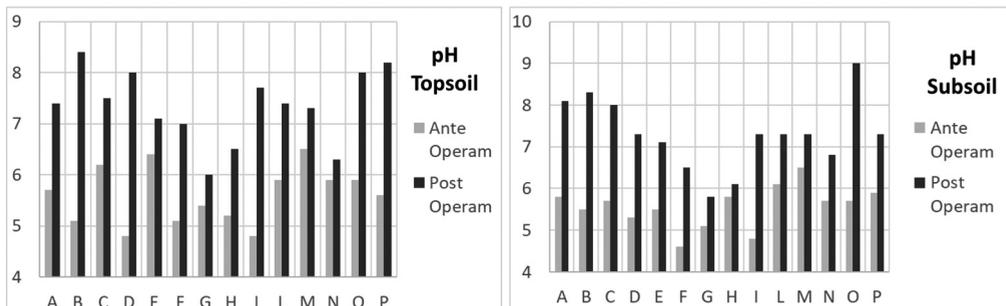


Fig. 4 – Confronto AO - PO di pH nel topsoil e nel subsoil

- Alterazione del regime idrico, con due scenari contrapposti.

Perdita di capacità idrica di campo dovuta alla realizzazione di ripristini pedologici eseguiti senza un'adeguata attenzione alla struttura del suolo e con un significativo incremento delle frazioni granulometriche più grossolane (Fig. 5, a sinistra). Riduzione della permeabilità con conseguenti prolungati ristagni idrici superficiali a seguito di una forte compattazione di un orizzonte profondo causato dal carico esercitato dal cantiere e da un ripristino del subsoil non adeguato (Fig. 5, a destra).

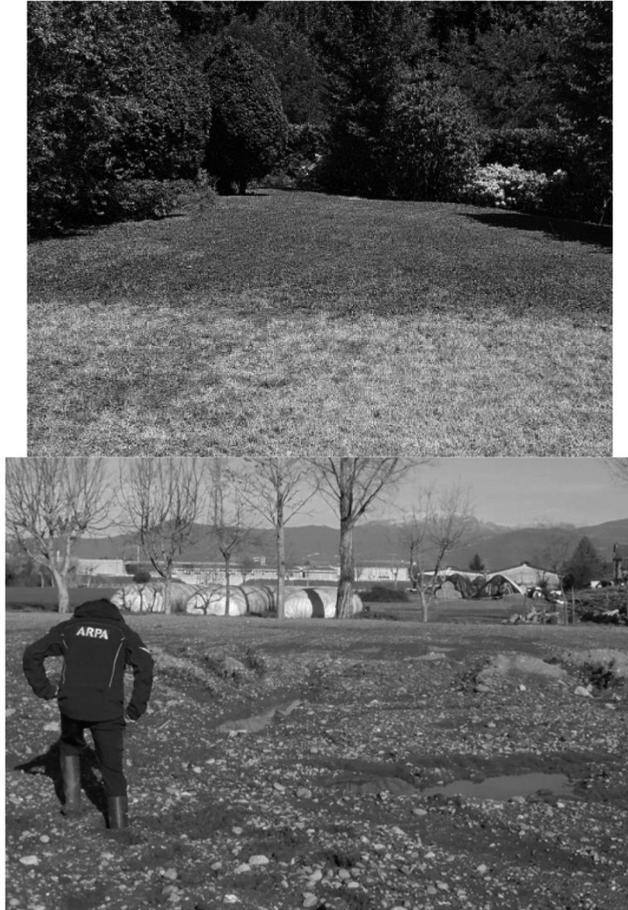


Fig. 5 – Perdita di capacità di campo (a sinistra); Ristagni idrici superficiali (a destra)

Tali condizioni determinano una perdita di diversi servizi ecosistemici del suolo quali, secondo quanto indicato dalla FAO [3]: habitat per gli organismi, riciclo di nutrienti, regolazione del clima, controllo delle inondazioni, fornitura di cibo, fibre e combustibili, sequestro di carbonio, purificazione dell'acqua e riduzione dei contaminanti nel suolo.

2.3 Elaborazione linee guida gestione e tutela dei suoli nei cantieri

Al fine di mitigare l'impatto generato dall'installazione dei cantieri temporanei e favorire la riattivazione dei servizi ecosistemici a seguito del ripristino pedologico ARPA Lombardia ha

elaborato delle linee guida dedicate alla gestione e tutela dei suoli nei cantieri delle grandi opere, di prossima pubblicazione.

Il documento promuove azioni di prevenzione e mitigazione degli impatti parallelamente ad un monitoraggio degli stessi. La finalità di tali azioni è di limitare l'insorgere di criticità ambientali e di restituire un terreno ripristinato in continuità pedologica con il contesto naturale, intervenendo prima che si verifichino situazioni di difficile soluzione tecnico, economica e giuridica.

Un'ampia sezione viene quindi dedicata a fornire una serie di buone pratiche di cantiere per le attività nella fase di scotico del topsoil, di realizzazione e stazionamento dei cumuli di terreno scotico, di ripristino dell'area. Ai fini di una realizzazione ottimale di quanto previsto, si suggerisce che tali attività siano coordinate in campo con il supporto di un esperto pedologo. Tuttavia, anche attuando le buone pratiche, gli impatti sulla matrice suolo derivanti dalle attività cantieristiche possono essere significativi, motivo per il quale risulta necessario attivare un monitoraggio condotto da un pedologo esperto durante le fasi di AO, di CO (Corso d'Opera) e di PO. A seguito di un'accurata valutazione bibliografica, in considerazioni delle peculiarità territoriali, litologiche, morfologiche, pedologiche e di uso del suolo, il monitoraggio deve prevedere attività di campo e di laboratorio, comprendendo quindi sia l'analisi di profili pedologici che il campionamento degli orizzonti più significativi del topsoil e del subsoil.

Per una adeguata valutazione degli impatti a conclusione delle lavorazioni, risulta fondamentale a chiusura della fase AO elaborare un Suolo Obiettivo [8], ovvero un suolo di progetto per cui vengono definiti i range di determinati parametri, da adottare successivamente come termine di confronto dei valori rilevati in fase PO.

Le linee guida esplicano in modo dettagliato come condurre il monitoraggio e comprendono anche in allegato un format editabile di Report di Monitoraggio che accompagna e facilita le attività di monitoraggio.

2.4 Movimentazione suolo e gestione specie alloctone

Nell'ambito dei cantieri, azioni quali il rimaneggiamento del substrato, l'asportazione del topsoil, la formazione di cumuli di terreno vegetale e/o di terre da scavo, originano suoli privi di copertura vegetale, o con copertura fortemente degradata, condizioni estremamente favorevoli all'ingresso e alla diffusione di specie ruderali e generaliste, caratteri tipici delle specie vegetali alloctone invasive (*Invasive Alien Species*, IAS).



Fig. 6 – Presenza di specie alloctone in prossimità di cumuli di cantiere

La loro presenza rappresenta una significativa criticità rispetto alla tutela della naturalità del territorio; vengono infatti definite dal Regolamento EU 1143/2014 specie “per cui si è rilevato che l’introduzione o la diffusione minaccia la biodiversità e i servizi ecosistemici collegati, o ha effetti negativi su di essi”. Esse possono infatti competere con successo con le specie autoctone determinando a livello locale notevoli impatti ecologici, come perdita di biodiversità ed alterazione degli ecosistemi, e, a scala più ampia:

- impatti economici, quali il danneggiamento di colture agrarie (es. riduzione della produttività), di vivai e di manufatti;
- impatti sanitari, principalmente reazioni allergiche tramite contatto diretto o per inalazione del polline. La specie maggiormente problematica in Lombardia è *Ambrosia artemisiifolia*, inserita nella lista nera di cui alla D.g.r. 2658/2019, specie che si insedia con facilità su incolti e suoli disturbati da movimenti terra e che provoca rilevanti pollinosi. Con l’ordinanza n. 25522 del 29 marzo 1999 sono pertanto state introdotte in Lombardia misure di contrasto alla diffusione di *Ambrosia*; ad esempio, nei cantieri occorre eseguire due interventi di pulizia all’anno, effettuando gli sfalci prima della maturazione delle infiorescenze.

La crescente attenzione a livello mondiale al problema delle specie alloctone ha portato in tempi recenti Regione Lombardia alla definizione di una strategia regionale di controllo e gestione delle stesse e alla attivazione di una “task force invasive” presso l’Osservatorio Regionale per la Biodiversità. ARPA Lombardia ha successivamente elaborato le “Linee guida per il contrasto alla diffusione delle specie alloctone vegetali invasive negli ambienti disturbati da cantieri” [9].

Le Linee Guida prevedono la redazione di un “Piano di gestione delle specie vegetali alloctone”, da integrare all’interno del Piano di Monitoraggio Ambientale, articolato in tre fasi:

- Fase preliminare (AO), antecedente l’avvio dei lavori, finalizzata all’analisi dello stato di fatto del territorio per evidenziare la presenza di specie alloctone in tutte le aree di pertinenza del cantiere e nel relativo intorno; contestuale formazione del personale di cantiere.
- Fase di cantiere (CO), nella quale effettuare un costante monitoraggio delle alloctone, finalizzato al loro rilevamento precoce, ed applicare una serie di buone pratiche per prevenirne l’insediamento e controllare la loro diffusione.
- Fase di PO, della durata di almeno 24/48 mesi, durante la quale proseguire il monitoraggio delle specie alloctone. La gestione delle alloctone deve pertanto essere contemplata anche nel Programma di Manutenzione di tali opere a verde al fine di garantirne l’efficacia e la buona riuscita in termini di servizi ecosistemici.

Qualora il monitoraggio evidenziasse la presenza di individui o nuclei di specie alloctone occorre mettere in atto opportuni interventi per evitarne la diffusione. Sono possibili tre modalità di intervento, definite nel Regolamento EU 1143/2014: eradicazione, contenimento, gestione.

Gli interventi devono essere definiti con il supporto di tecnici esperti ed essere adeguati rispetto alle caratteristiche ecologiche di ogni specie alloctona.

3. Conclusioni

La realizzazione di infrastrutture e opere che prevedono l’insediamento di cantieri temporanei generalmente comporta degli impatti significativi sulla matrice suolo che generano una perdita di servizi ecosistemici.

La conciliazione tra la necessità di rilancio infrastrutturale, dettata dal contesto economico e geopolitico locale e internazionale, e di salvaguardia degli ecosistemi e del comparto suolo risulta pertanto un obiettivo da perseguire in modo diffuso e sistematico. ARPA Lombardia, promuove quindi all’interno delle realtà cantieristiche un’attenzione al comparto pedologico

e alle specie alloctone con l'introduzione di buone pratiche di cantiere ed idonee metodiche di monitoraggio.

L'efficacia di tali accorgimenti richiede una forte sinergia con quanto previsto dal Sistema di Gestione Ambientale nell'ambito dell'operatività, anche tramite una specifica formazione delle maestranze.

L'adozione del modello proposto crea un contesto favorevole al cambio culturale in merito alla considerazione della complessità delle risorse naturali, generando soluzioni sempre più strutturate ed efficaci nel prevenire l'insorgenza di criticità che portano al degrado e consumo indebito della risorsa naturale.

Bibliografia

[1] **Commissione delle Comunità Europee**, *Strategia tematica per la protezione del suolo* - 2006;

[2] **Jenny H.**, *Factors of soil formation* – 1941;

[3] **FAO**, *Soil function* – 2015

<https://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/news/detail/en/c/284443/>

[4] **FAO, ITPS, GSBI, CBD and EC**, *State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020*. Rome, FAO – 2020)

[5] **Munafò, M.** (a cura di), *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. Edizione 2022. Report SNPA 32/22 – 2022

[6] **APAT**, *Il suolo la radice della vita* – 2008

[7] **IUSS Working Group WRB**, “*World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*”. *World Soil Resources Reports No. 106*. FAO, Rome – 2015

[8] **ISPRA**, *Linee guida per il trattamento dei suoli nei ripristini ambientali legati alle infrastrutture*. 65.2/2010 – 2010

[9] **ARPA Lombardia**, *Linee guida per il contrasto alla diffusione delle specie alloctone vegetali invasive negli ambienti disturbati da cantieri* – 2022

Indoor Air Quality e Smart Building: sinergie e opportunità

Andrea Lanna¹(a.lanna@overtechnologies.com), Giuseppe Santoro²(giuseppe.santoro@cbre.com), Lorena Nappa¹(l.nappa@overtechnologies.com), Luca Alberto Pitera³(lucapitera@aicarr.org), Michele Rossi⁴(michele.rossi@veolia.com), Nicolas Fernando Marrugo Cardenas⁴ (nicolas.marrugo-cardenas@veolia.com), Umberto Paracchini⁵(paracchini@kieback-peter.de)

Riassunto

Il presente documento introduce lo standard Ready to Service (R2S) per gli Smart Building e mostra come questo protocollo possa lavorare in sinergia con l'Indoor Air Quality (IAQ). All'interno del documento, vengono riportati due casi d'uso in cui si mostra come l'R2S possa essere un elemento abilitante una migliore e più efficace gestione dell'IAQ. Nelle conclusioni, gli autori riportano inoltre quali sono ancora le sfide aperte e necessarie per una completa sinergia tra edificio e IAQ.

Summary

The Ready to Service (R2S) standard for Smart Buildings and the synergies with the Indoor Air Quality analysis is illustrated in this paper. The reader can find in the following pages two real case studies that highlight how the R2S standard can become the enabler for a better IAQ management. The authors conclude the dissertation reporting the open challenges that Smart Building Alliance is facing for a full synergy between IAQ and Smart Building.

1. Introduzione

Il presente lavoro è stato prodotto dal gruppo di lavoro WG11 *Indoor Air Quality* di Smart Building Alliance Italia (wg11.airquality@sbaitalia.it).

Si trascorre in media circa il 90% del proprio tempo all'interno di ambienti chiusi (EPA [1]) e il tema della Qualità dell'aria interna o dell'*Indoor Air Quality* (IAQ) è sempre più di interesse nella comunità. Fino a pochi anni fa è stato un argomento per tecnici del settore, tipicamente personale con formazione sanitaria e progettisti/manutentori di impianti di *Heating, Ventilation & Air Conditioning* (HVAC). La recente pandemia COVID-19 ha sensibilizzato anche ai non addetti ai lavori che guardano sempre di più la IAQ, non solo come un "costo" ma anche un requisito minimo imprescindibile di salubrità degli ambienti.

Smart Building Alliance Italia (SBA) è un'associazione no-profit che nasce con lo scopo di fare sinergia tra i vari attori del ciclo di vita dell'edificio (ovvero progettisti, società di costruzioni, consulenti, associazioni di categoria, manutentori, società di prodotto) per poter pro-

¹ OVER S.p.A., Roma (MI)

² CBRE GWS Technical Division, Montesilvano (PE)

³ AiCARR, Milano (MI)

⁴ Siram Spa (Veolia group), Milano (MI)

⁵ Kieback&Peter Italia Srl, Monza (MB)

muovere le migliori best-practice per accelerare il processo di adozione di nuovi standard e metodologie. SBA ha sviluppato un protocollo, già attivo in Francia e, a breve anche in Italia, che certifica che l'edificio sia pronto per offrire servizi digitali, appunto lo standard **Ready to Service** (R2S) [2]. R2S è pertanto un protocollo che permette di abilitare i servizi a valore aggiunto che uno Smart Building può offrire, tra cui una migliore gestione della IAQ. In questo articolo SBA mostra due casi d'uso su come un edificio intelligente (ovvero conforme alle direttive e allo standard R2S) possa promuovere una migliore gestione della IAQ.

2. Lo standard R2S

Lo studio della IAQ è fondamentale per determinare lo stato di salute e dell'efficienza di un edificio. Condizione necessaria affinché l'IAQ sia gestita correttamente è che i parametri di riferimento possano essere disponibili, interpretati e utilizzati al fine di supportare un processo decisionale. Per fare ciò occorre un'infrastruttura efficiente a livello di edificio, per gestire sì la IAQ, ma in generale tutta l'operatività. Lo standard **R2S** nasce proprio per questo: garantire a tutti gli operatori che seguendo le prescrizioni dello standard l'edificio avrà i requisiti per poter operare in maniera efficiente, "che sia a prova di futuro".

L'etichetta R2S, già punto di riferimento in Francia dal 2019, si basa su 5 principi chiave:

- Un'architettura di sistema a 3 livelli indipendenti: applicazioni e servizi, infrastruttura IT e dispositivi a campo non devono influenzare in maniera impositiva le scelte e la selezione di un altro livello.
- Interoperabilità: le variabili legate al funzionamento dell'edificio devono essere libere di fluire, tramite API aperti o altre interfacce, dove servono, ed alimentare servizi e applicazioni.
- Una strutturazione chiara dei requisiti necessari ad affrontare la sfida della trasformazione digitale. Ogni requisito (in totale 6) viene suddiviso in varie parti, in modo da descrivere capillarmente quanto richiesto.
- Supportare lo scambio di dati anche fuori dall'edificio, garantendo un'interazione veloce ed efficiente con applicazioni e servizi terzi.
- Considerare anche gli edifici residenziali, che hanno spesso una struttura più semplice e meno organizzata a livello IT, ma che in futuro dovranno adeguarsi per affrontare la sfida digitale.

In particolare, a livello di servizi per l'edificio, l'etichetta R2S considera non solo il monitoraggio e l'efficienza energetica, che sono sicuramente importanti, ma anche il monitoraggio e la gestione della qualità dell'aria interna, la misurazione e l'analisi dei dati di occupazione, senza dimenticare la gestione delle colonnine di ricarica dei veicoli elettrici.

3. Sinergia R2S

Quali opportunità possiamo cogliere in modo che lo standard R2S sostenga il miglioramento della IAQ e viceversa?

Entrambi hanno l'obiettivo di migliorare e portare ad un livello più alto la qualità della vita degli occupanti gli edifici. R2S si preoccupa di standardizzare i requisiti minimi e definire una serie di misure e grandezze fisiche e chimiche a disposizione degli occupanti. Queste grandezze di fatto costituiscono gli indicatori di diversi elementi legati al comfort e alla salute e sono spesso influenzate dall'ambiente esterno. Per gli occupanti avere a disposizione queste misure significa ad esempio poter decidere se sia meglio operare con una aerazione oppure attraverso l'attivazione di un impianto di ventilazione meccanico disponibile, o se utilizzare una mascherina uscendo di casa se l'inquinamento esterno è tale da suggerirne l'uso.

Nel contesto della IAQ l'edificio con etichetta R2S beneficia di informazioni utili ai fini di azioni collettive come, ad esempio, la riduzione del traffico veicolare in aree particolarmente inquinate, oppure la creazione di mappe geografiche utili al monitoraggio dell'inquinamento

dell'aria, al fine di ridefinire orari e impostazioni per la gestione degli impianti di riscaldamento.

4. Caso d'uso 1: locale commerciale

4.1 Descrizione del sito e dei problemi riscontrati

Il primo caso d'uso che si vuole riportare è quello di un locale commerciale di circa 600 m². L'edificio è ubicato a Roma ed è equipaggiato con un sistema di ventilazione centralizzato che fornisce aria trattata proveniente parzialmente dal ricircolo interno e il restante da aria esterna. Il sito fa un orario 8-17, dal lunedì al venerdì.

Nelle zone identificate in rosso nella Fig. 1, i dipendenti lamentavano, nelle prime ore del giorno, forti odori negli ambienti, che causavano problemi di concentrazione ed emicrania. Gli odori e i relativi effetti sparivano durante la giornata.

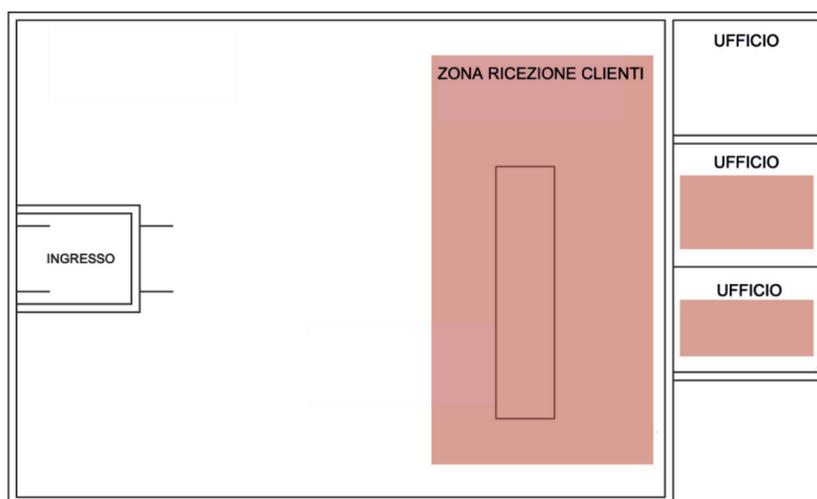


Fig. 1 – Layout caso d'uso 1.

4.2 Analisi del problema

Si è provveduto inizialmente ad una misurazione “spot” dei valori più comuni di IAQ degli ambienti, come CO₂ e PM, ma non sono stati riscontrati valori anomali. Successivamente è stata effettuata un'attenta analisi dell'impianto di ventilazione, sostituzione dei filtri e igienizzazione delle condotte. I parametri di CO₂ e PM continuavano a rimanere nella norma ma i dipendenti continuavano a riportare gli stessi sintomi. È stato convenuto di installare dei sensori di monitoraggio *real-time* nei diversi locali dell'immobile: uno nell'area di ricezione clienti, uno per ogni ufficio indipendente, uno in sala riunioni e uno esterno.

Il dispositivo selezionato è un multisensore in grado di leggere, con granularità di 1 minuto, i seguenti parametri: temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀, CO₂, CO, TVOC e formaldeide. L'installazione è stata effettuata seguendo le specifiche riportate anche dal recente report dell'ISS [3] e facente riferimento alle normative UNI EN ISO 16000 parte 1 e 26 e ai rapporti ISTISAN del GdS Inquinamento *Indoor* [3 - appendice A], ovvero:

- altezza 1,5 m dal pavimento
- distante circa 1,5-2 m dalle persone

- distante almeno 1 m da librerie, armadi o ostacoli
- lontano da fuoriuscite d'aria naturale
- lontano da sorgenti o fonti di calore.

4.3 Risultato dell'analisi

La seguente Fig. 2 mostra una sintesi dei risultati ottenuti. Effettivamente, come riportato dai dipendenti, nelle prime ore del mattino si è rilevata un'alta concentrazione di TVOC e formaldeide. La ragione di questi valori è stata la combinazione di due principali fattori:

- L'utilizzo di prodotti di pulizia con alto rilascio di composti organici volatili (COV). Come si può vedere il picco coincide nei diversi ambienti con l'orario delle pulizie quotidiane.
- Cattiva gestione delle Unità di Trattamento Aria, che erano impostate, per motivi di riduzione dei consumi, con una temporizzazione dalle ore 10 alle ore 17.

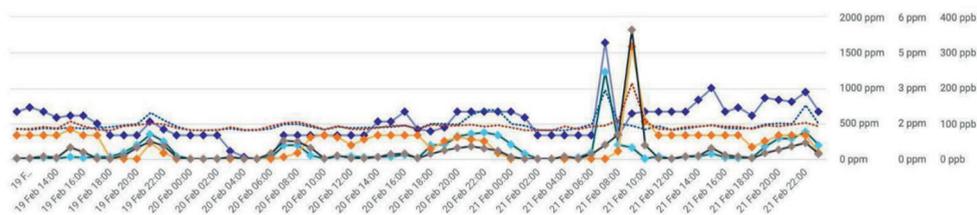


Fig. 2 – Estratto grafico dell'analisi ambientale.

4.4 Soluzione

La riduzione degli orari di funzionamento delle UTA era stata determinata da motivi di contenimento dei consumi energetici. Pertanto era stato stimato che fino alle ore 10 del mattino la qualità dell'aria sarebbe stata sufficientemente buona anche con le UTA spente.

Volendo mantenere una politica di riduzioni dei consumi ma allo stesso tempo garantire una buona qualità dell'aria per i dipendenti e i clienti, l'edificio è stato equipaggiato con un sistema di automazione che, interagendo con i sensori ambientali appena installati, è in grado di mantenere gli stessi orari di funzionamento delle UTA ma allo stesso tempo azionarle nel caso in cui i valori di PM, CO₂, TVOC e formaldeide inizino a salire oltre una determinata soglia.

5. Caso d'uso 2: resort con impianti distribuiti

Il secondo caso d'uso è un moderno resort situato negli Emirati Arabi, dove è presente un sistema centralizzato di generazione del calore che fornisce il fluido vettore per il raffrescamento di tre aree distanti diverse centinaia di metri (Fig. 3).

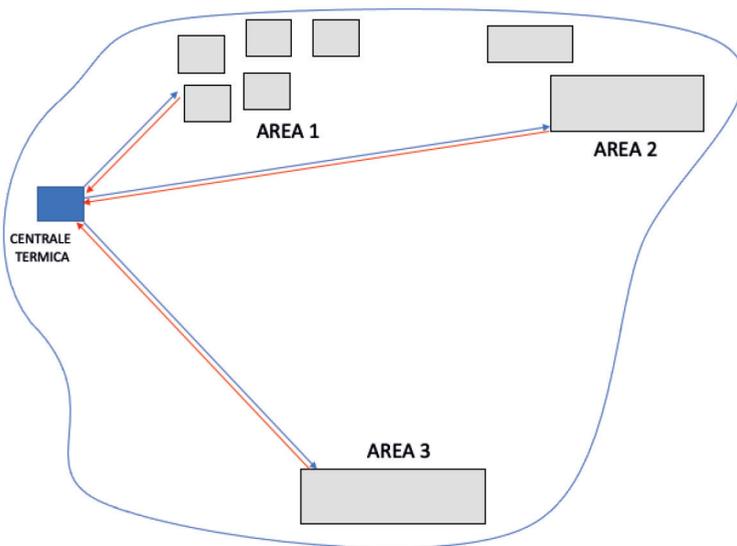


Fig. 3 – Layout caso d'uso 2.

Nelle singole aree la ventilazione e il raffrescamento dei locali è gestito attraverso delle UTA. Focalizzandoci sull'AREA 3 possiamo vedere che, ad esempio, tutto l'edificio è gestito da 7 unità che trattano l'aria esterna garantendo un corretto flusso d'aria alla temperatura e umidità relativa progettata. Il problema che si riscontrava era la presenza di formazioni di muffe, nonostante le UTA fornissero il corretto valore di temperatura e umidità relativa.

5.1 Risultato dell'analisi

Per analizzare la problematica sopra descritta sono stati installati dei dispositivi che, interagendo con il BMS di ogni singola area, potessero raccogliere le informazioni più rilevanti per l'analisi del complesso. Oltre alla sensoristica già presente, sono stati installati nelle camere soggette a formazione di muffe, sensori di IAQ come quelli descritti nel precedente caso d'uso, nonché dei sensori di temperatura e umidità relativa nelle pareti esterne ed interne.

Il risultato è sintetizzato nella Fig. 4: le UTA si prendono carico dell'aria esterna contenente mediamente 24 g/kg di umidità assoluta (valore medio giornaliero) che viene trattata in modo tale che venga fornita all'ambiente con un valore di umidità assoluta dimezzata. Il valore è leggermente superiore a quanto progettato (10 g/kg), ma ancora accettabile. Quello che si riscontra negli ambienti è un'umidità assoluta pari a 18 g/kg mentre nelle pareti il valore di umidità assoluta è mediamente compreso nel range 13-14 g/kg.

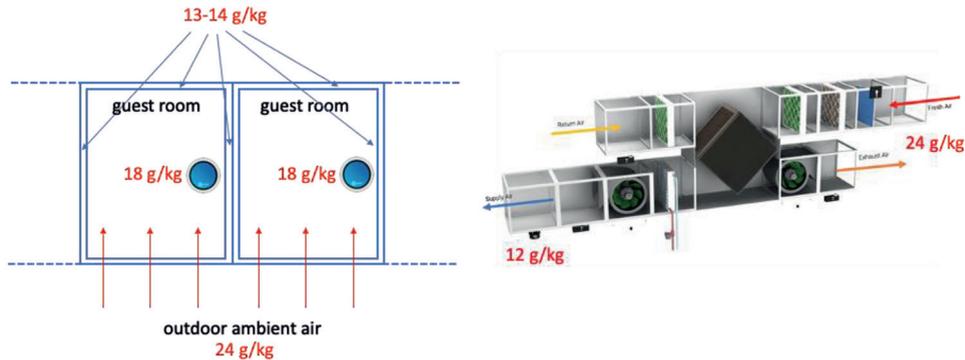


Fig. 4 – Analisi dati caso d'uso 2.

Analizzando questo dato e la differenza di pressione atmosferica interna ed esterna, è stata identificata la sorgente del problema: negli ambienti interni viene esercitata una pressione negativa rispetto all'esterno che permette all'aria non trattata (sia dal punto di vista termico sia di contaminanti) di entrare facilmente negli ambienti interni attraverso la non perfetta tenuta all'aria degli infissi.

5.2 Soluzione

La problematica era dovuta essenzialmente alle UTA che, a causa di una manutenzione non adeguata, avevano le serpentine delle batterie di raffreddamento talmente occluse da limitare il passaggio di aria e, pertanto, causare questa differenza negativa di pressione con l'esterno.

6. Conclusioni

La *Indoor Air Quality* è un tema che sempre più sta richiamando l'attenzione non solo degli stakeholder esperti e professionisti del settore (es. personale sanitario, progettisti, esperti di impianti, ...) ma anche dei cittadini. Oggigiorno abbiamo a disposizione la sensoristica per poter analizzare anche in tempo reale l'esposizione ad agenti inquinanti e dannosi per l'uomo nel breve e nel lungo periodo, ma anche per migliorare il comfort e le prestazioni dei dipendenti al lavoro (es. [4]). Per far questo ci sono ancora dei passaggi da fare che Smart Building Alliance (SBA) sta portando avanti con l'aiuto dei suoi soci. I casi d'uso raccontano come un edificio connesso e rispettante le linee guida dello standard R2S possa diventare un elemento abilitante per il monitoraggio e il miglioramento della IAQ. Tra le sfide che SBA Italia sta portando avanti, ci preme sottolineare le seguenti:

- **Infrastruttura IT.** Le analisi che abbiamo riportato dei due casi d'uso hanno richiesto l'analisi di un valore talmente grande di dati che nessun sistema locale è in grado di gestire, per capacità di memoria ma soprattutto per capacità di analisi dei dati. Un edificio connesso alla rete in fibra sarà sempre più un requisito fondamentale per offrire servizi a valore aggiunto.
- **Validazione dei dati.** I dati raccolti dalla sensoristica devono essere generati e inviati in modo tale che sia sempre possibile contestualizzarli dal punto di vista temporale e in base all'origine origine e alla qualità del dato stesso. Se si fa riferimento al secondo caso d'uso, ogni edificio ha il suo BMS. Non sarebbe stata possibile nessuna analisi se questi dati non fossero stati "taggati" con un *timestamp* univoco. Immaginate di dover analizzare i dati provenienti da due o più edifici dove ogni sistema ha un suo orologio indipendente e non sincronizzato.
- **Interoperabilità.** L'analisi della IAQ richiede competenze trasversali, nonché la risoluzione di problematiche simili a quelle descritte nei due casi d'uso. È necessario che i dati raccolti

e collezionati siano messi a disposizione di personale competente che abbia pieno controllo anche dell'impiantistica meccanica. Ciò richiede la collaborazione di più team e un'infrastruttura che permetta l'accesso a questi dati in modo sicuro e flessibile.

Bibliografia

[1] **U.S. Environmental Protection Agency.** *Report to Congress on indoor air quality: Volume 2.* Washington DC: EPA/400/1-89/001C; 1989.

[2] **Smart Building Alliance.** *The new generation reference framework for connected and communication building.* Disponibile al sito: www.smartbuildingsalliance.org.

[3] **Settimo G, Bertinato L, Martuzzi M, Inglessis M, D'Ancona F, Soggiu ME, Brusaferrò S.** *Nota tecnica ad interim. Monitoraggio della CO2 per prevenzione e gestione negli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2.* Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2022.

[4] **MacNaughton P, Pegues J, Satish U, Santanam S, Spengler J, Allen J.** *Economic, environmental and health implications of enhanced ventilation in office buildings.* International journal of environmental research and public health. 2015 Nov;12(11):14709-22.

Indice degli autori

- Alfaro Natalia 31
Álvarez María Luisa 31
Amandolesi Stefano 164
Amodeo Elisa 158, 215
Arnone Silvia 231
Astorri Francesco 185
Avella Claudio 215
- Balducci Catia 367, 381, 389
Ballabio Elena 405
Bardwell Louise 45
Bellingeri Dario 351
Beltrame Davide 247
Benzi Monica 164
Berardi Francesco 293
Bersani Marco 24
Bertamini Luca 18
Bianchi Piervito 284
Bianconi Daniele 317
Binetti Leonardo 11
Bonilauri Paolo 231
Borsetta Germana 201
Bosio Claudio 396
Brini Silva 338
Buckmaster Evangeline 45
Burzacca Paolo 396
- Calvi Riccardo 261
Campanelli Alessandra 201
Canu Paolo 247
Cappelletti Giulio Mario 124, 284
Capponi Eugenio 112
Carboni Alessandra 223
Cardinale Emanuele 310
Carraro Gianfranco 152
Castelli Elena 405
Castrucci Barbara 338
Cavallo Marino 178
Cecere Elisa 396
Cecinato Angelo 381, 389
- Ceci Paolo 367, 389
Cella F. 237
Cella Mazzariol Pietro Paolo 89
Cerasa Marina 367, 381, 389
Cicarelli Marco 345
Colombo Claudia 152
Colombo Silvia 158
Conti Laura 223
Contillo Francesco 11
Contri Silvia 164
Conversano A. 237
Copertaro Benedetta 45
Cozzi Lorena 345
Craine Rebecca 45
Crovella Tiziana 277
Cucchiara Giuseppa 65
Curatolo Michele 231
Curcio Giulia Maria 254
- De Cesare Fabrizio 317
Defilippo Francesco 231
De Finis Erika 405
De La Feld Marco 18
Della Zassa Micol 247
De Maio Elisabetta 338
De Maio Francesca 338
De Mei Massimiliano 231
De Molfetta Maurizio 118
De Santis Noemi 52
De Vilder Ine 18
Di Capua Rosa 118
Di Noia Alfredo Ernesto 124, 284
Donegà Massimo 396
- Fantin Valentina 105
Faustin Gabriel 396
Fibbiani Nadia 351
Fino Alessandra 374
Fiorella Tiziana 132
Flower Olivia 45

Fosco Donatello 118
 Francavilla Matteo 11
 Franzoi Mattia 396
 Frapiccini Emanuela 201
 Fraschetta Ludovica 396
 Frasnelli Devid 396
 Frattoni Massimiliano 367
 Fusillo Gianluca 75

Gabba M. 237
 Galanzino Gian Francesco 89
 Garuti Mirco 81
 Garziano Giuditta 338
 Gasperi Gian Maria 11
 Ghiggini Elisa Vittoria 89
 Ghiringhelli Giorgio 152, 158, 164
 Giacomini Syria 396
 Gianluca Magrini 45
 Giardi Giuliana 338
 Giavini Michele 158
 Giovannini Sirio 396
 Giraldi David 310
 Grillenzoni Andrea 215
 Grilli Luca 284
 Grisendi Annalisa 231
 Gulotta Angelo 65

Infusino Ernesto 171
 Infusino Roberta 171
 Invernizzi Marzio 325, 332

Lagioia Giovanni 277
 Lanna Andrea 361, 413
 Lazzarotto Francesco 396
 Lazzeri Camilla 396
 Leonardi Cristina 374
 Lepore Arianna 338
 Limonti Carlo 254
 Loda Alessandro 351
 Lomoro Antonella 293
 Lorusso Giuseppe 75

Macagnano Antonella 192, 317
 Manca Daniele 396
 Manca Gavina 208
 Mangiagli Sebastiano 59
 Mantovani Marco 247
 Marasco Paolo 11
 Marchio Francesco 254

Marega Andrea 132
 Mari Massimo 192, 317
 Marini Mauro 201
 Mariotto Alessia 405
 Marone Mauro 11
 Marrazzo Romualdo 185
 Marrugo Cardenas Nicolas Fernando 413
 Mascioli Alessandra 145
 Mazzarelli Martina 396
 Mazziotti Carla 192
 Meca Giuseppe 201
 Mehner Eric 105
 Meroni Roberta 345
 Micale Carlotta 24
 Miccolis Giovanni 11
 Modonese Daniele 396
 Molinaro Giuseppe 361
 Momoli Riccardo 24
 Monti Andrea 405
 Morosini Daniele 332
 Mosconi Dario 24
 Musmeci Sergio 231

Nacchiero Raffaele 11
 Nappa Lorena 361, 413
 Nava Elisa 405
 Nicoletti Giuseppe Martino 124
 Notarnicola Bruno 118

O'Brien Vanessa 45
 Oliva Pietro 271

Paiano Annarita 277
 Panfili Monica 201
 Papotto Aldo 293
 Paracchini Umberto 413
 Pellizzari Valter 396
 Penna Pierluigi 201
 Peretti Cristina 145
 Perilli Mattia 381, 389
 Peruzzi Alessandro 361
 Petrazzuolo Francesco 231
 Petti Luigia 208
 Piccinini Sergio 81
 Pickard Thomas 45
 Pike Ryan 45
 Pitardi Pierfrancesco 89
 Piterà Luca Alberto 413
 Pizzichini Daniele 105

Polvara Elisa 332
Pomili Luca 99
Preti Aleck 215
Prunella Nicola 75

Racca Deborah 11
Radavelli Pier Luigi 261
Raggi Andrea 208
Realini Francesca 65
Renna Leonardo 11
Renzulli Pietro Alexander 118
Romagnoli Paola 367, 381, 389
Roncarati Alessandra 201
Rossi Michele 413
Russo Carlo 124, 284

Sabatucci Gian Marco 361
Sala Francesca 223
Salvicchi Andrea 231
Santoro Giuseppe 413
Santoro Serena 367, 389
Sbaffi M. 237
Sbarbaro Giuseppe 164
Scarano Vincenzo 11
Scauri Madeira 18
Siciliano Alessio 254
Sinisgalli Erika 81

Sironi Selena 325, 332
Soldano Mariangela 81
Sorbo Miriam 75
Spirolazzi Valeria 405
Stacchini Valeria 38, 138, 303

Tagliaferri Francesca 325
Taibi Khaled 201
Tarantino Nino 293
Tascione Valentino 208
Tassielli Giuseppe 118
Tomio Timoteo 396
Tonelli Lorenzo 231
Trombin Rita 215

Vaccari Mentore 105
Vadalà Giuseppe 293
Viganò Federico 237
Vittori Sauro 201
Volcan Davide 396

Winkler Jakob 45

Zanetti Nicola 247
Zatti M. 237
Zerlottin Mirco 247

